Forschungsjournal der TU Graz
2017-1 | Nr. 17

WISSEN ▪ TECHNIK ▪ LEIDENSCHAFT

TU Graz

TU GRAZ research

Kunststoffe als Wärmemanager für Hightechprodukte

Plastics as Heat Managers for High-Tech Products

SPECIAL ISSUE:
FoE & COMET COOPERATIONS

Modellierung der Mikrostruktur von Aluminium-Legierungen ▪ Neue biologische Ansätze für die Synthesechemie ▪ Demand Forecasting ▪ Warum man in der Großmotorenforschung weiter Gas gibt ▪ Low-Cost-Ofen mit niedrigsten Emissionen

Modelling the Microstructure of an Aluminum Alloy ▪ Novel Biological Approaches in Synthesis Chemistry ▪ Demand Forecasting ▪ Why Large Engines Research Steps on the Gas ▪ Low-Cost Stove with Lowest Emissions

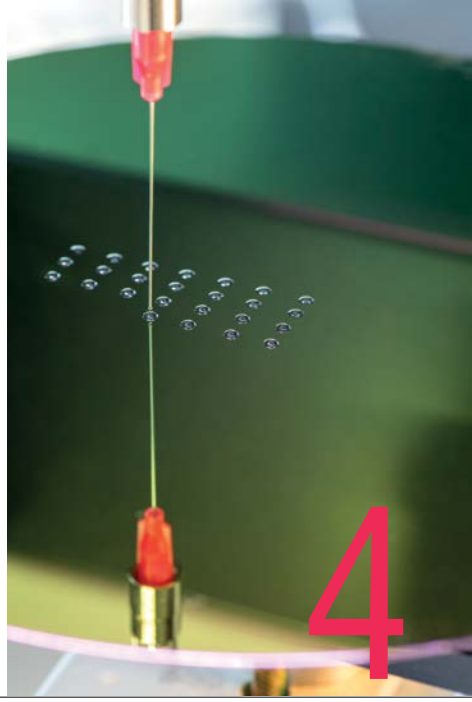
Inhalt/*Contents*

3 Vorwort / *Preface*

On the Top

4 Kunststoffe als Wärmemanager für Hightechprodukte

Plastics as Heat Managers for High-Tech Products



© Lunghammer – TU Graz

Fields of Expertise

WISSENSCHAFTERINNEN UND WISSENSCHAFTER PRÄSENTIEREN AUSGEWÄHLTE PROJEKTE UND FORSCHUNGSBEREICHE IM RAHMEN DER FÜNF FIELDS OF EXPERTISE (FoE)

SCIENTISTS PRESENT SELECTED PROJECTS AND RESEARCH AREAS IN THE FRAMEWORK OF THE FIVE FIELDS OF EXPERTISE (FoE)

10 Advanced Materials Science
Christof Sommitsch

11 Modellierung der Mikrostruktur von Aluminium-Legierungen
Modelling the Microstructure of an Aluminum Alloy
Romain Bureau

14 Human & Biotechnology
Bernd Nidetzky

15 Neue biologische Ansätze für die Synthesechemie
Novel Biological Approaches in Synthesis Chemistry
Martina Geier

18 Information, Communication & Computing
Kay Uwe Römer

19 Demand Forecasting
Demand Forecasting
Roman Kern

22 Mobility & Production
Helmut Eichlseder

23 Warum man in der Großmotorenforschung weiter Gas gibt
Why Large Engines Research Steps on the Gas
Andreas Wimmer

26 Sustainable Systems
Urs Leonhard Hirschberg

27 Low-Cost-Ofen mit niedrigsten Emissionen
Low-Cost Stove with Lowest Emissions
Robert Scharler, Christoph Hochenauer

Life

FORSCHUNG UND TECHNIK IM ALLTÄGLICHEN – WIE FORSCHUNGSERGEBNISSE AUF UNSER LEBEN WIRKEN UND ES VERBESSERN KÖNNEN

RESEARCH AND TECHNOLOGY IN EVERYDAY LIFE: HOW RESULTS OF RESEARCH AFFECT OUR LIVES AND CAN IMPROVE THEM

30 Auf dem rechten Weg bleiben
Staying on the Right Path

Cooperations

GEMEINSAM FORSCHEN UND ENTWICKELN – WIE SPEZIALISIERTE INTERDISZIPLINÄRE ZUSAMMENARBEIT IN ERFOLG UND WEITERENTWICKLUNG RESULTIERT

CONDUCTING RESEARCH AND DEVELOPMENT TOGETHER: HOW INTERDISCIPLINARY COOPERATION BETWEEN EXPERTS LEADS TO SUCCESS AND FURTHER DEVELOPMENT

33 Pro²Future – Produkte und Produktionssysteme mit Köpfchen
Pro²Future – Products and Production systems of the future

Internationalisation

EXZELLENTE FORSCHUNG STREBT NACH LEBENDIGEM AUSTAUSCH IN GLOBALEN NETZWERKEN – WIE DIE TU GRAZ DEN INTERNATIONALEN FORSCHUNGSDIALOG LEBT

EXCELLENT RESEARCH ASPIRES TO A LIVELY EXCHANGE IN THE GLOBAL NETWORK: GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND INTERNATIONAL RESEARCH DIALOGUE

36 Druckfrische Medikamente aus der Apotheke
Inkjet Pharmacy: On-demand Drugs from the Printer

Impressum/Imprint: Eigentümerin: TU Graz. Herausgeber: Vizerektor für Forschung. Chefredaktion: Birgit Baustädter, Kommunikation und Marketing, Rechbauerstraße 12/I, 8010 Graz. E-Mail: TU-research@tugraz.at Gestaltung/Layout: Christina Fraueneder, Satz: Polycoon, Grafik- u. Kommunikationsdesign, Graz. Druck: Medienfabrik Graz. Auflage: 5.400 Stück. Wir danken den Autorinnen und Autoren für die Bereitstellung der Texte und Fotos. Geringfügige Änderungen sind der Redaktion vorbehalten. Titelbild: © Lunghammer – TU Graz. TU Graz *research* erscheint zweimal jährlich. © Verlag der Technischen Universität Graz 2016, www.ub.tugraz.at/Verlag. ISSN 2074-9643. www.tugraz.at/research-journal

Horst Bischof
Vizerektor für Forschung
Vice Rector for Research

Liebe Kolleginnen und Kollegen, sehr geehrte Forschungspartnerinnen und -partner und an unserer Forschung Interessierte!
Dear colleagues, research partners and those interested in our research,

Da unser letztes „Special Issue" zu Gender-und-Diversity-Themen so gut aufgenommen wurde und ich viel positives Feedback erhalten habe, haben wir gleich eine neue Schwerpunktausgabe geplant.

COMET-Zentren sind ein sehr wichtiger Bestandteil der Forschung an der TU Graz. Die TU Graz ist, wie Sie wahrscheinlich wissen, in Österreich jene Universität mit den meisten Beteiligungen an diesen Forschungszentren, die von der Forschungsförderungsgesellschaft FFG gefördert werden. Erst kürzlich wurde mit Pro²Future ein neues COMET-Zentrum eröffnet – welchem Thema es sich genau widmet, lesen Sie ab Seite 33 in dieser Ausgabe des TU Graz *research*. Die Zentren, an denen die TU Graz beteiligt ist, beschäftigen in Summe mehr als 1.100 Personen und haben einen Jahresumsatz von mehr als 100 Mio. Euro. In den COMET-Zentren wird gemeinsam mit der Industrie Forschung betrieben, weshalb sie für die TU Graz eine sehr effiziente Möglichkeit des Technologietransfers darstellen.

Die TU Graz betrieb schon von Beginn an das COMET-Programm offensiv (damals noch als „K Plus" bezeichnet). Für die TU Graz, vor allem aber für den Wissenschaft- und Wirtschaftsstandort Steiermark sind die Forschungszentren von immenser Bedeutung und tragen entscheidend zur Forschungsquote von 4,9 Prozent bei. Diese Spezialausgabe des TU Graz *research* soll die Verbindung zwischen den COMET-Kompetenzzentren und unseren Forschungsschwerpunkten – den Fields of Expertise – und die erfolgreiche, gemeinsame Forschung aufzeigen. Da COMET-Zentren aber eigenständige GmbHs sind, ist eine enge Abstimmung mit den Forschungsaktivitäten an der TU Graz wichtig. Idealerweise entwickeln die Fields of Expertise und die COMET-Zentren eine gemeinsame Sicht auf ein Thema und agieren abgestimmt – wobei die Grundlagenthemen und Dissertationen an der TU Graz und die angewandten Themen am Zentrum behandelt werden. Zusätzlich bewirbt man sich gemeinschaftlich an EU- und anderen Projekten.

Diese Spezialausgabe soll aufzeigen, wie befruchtend die gemeinsame Forschung sein kann. Sie werden einige herausragende Beispiele an kooperativen Forschungsprojekten finden. Möge die Lektüre auch als Inspiration für andere Bereiche dienen. Der in der Steiermark herrschende Kooperationsgedanke zeigt, dass man gemeinsam mehr erreichen kann.

Der Sommer und die Ferien stehen vor der Tür. Genau rechtzeitig erscheint diese Ausgabe des TU Graz *research* – vielleicht haben Sie etwas Zeit, sich den interessanten Artikeln dieser Ausgabe zu widmen. In diesem Sinne wünsche ich beim Lesen des Magazins viel Freude sowie Ihnen und Ihren Familien einen erholsamen Sommer.

Since our last "special issue" on gender and diversity was so well received and elicited such positive feedback, we immediately planned a new special issue.

COMET centres are a very important part of research at TU Graz. As you probably know, TU Graz has more shareholdings in these research centres, which are funded by Austrian Research Promotion Agency, than any other Austrian university. Just recently a new research centre called Pro²Future was opened: you can read all about the area of research *it is dedicated to on page 33 in this issue of TU Graz research. The centres in which TU Graz has shareholdings employ a total of more than 1,100 persons and have an annual turnover of more than 100m euros. In the COMET centres research is undertaken with the participation of industry, and from the point of view of TU Graz this has shown itself to be very efficient with respect to technology transfer.*

Right from the beginning, TU Graz adopted an offensive strategy in carrying out the COMET programme (in those days known as "K-centre"). For TU Graz, but especially for the science and business location Styria, the research centres are immensely important and make a crucial contribution to the research *quota of 4.9 per cent. This special issue of TU Graz* research *is meant to show the relation between the COMET competence centres and our research focuses – the Fields of Expertise – as well as the ensuing successful joint research. Since COMET centres are independent limited companies (GmbHs), close coordination of the research activities at TU Graz is important. Ideally, the Fields of Expertise and the COMET centres develop a combined view of a topic and act in coordinated way – the basic research topics and doctoral theses at TU Graz together with the applied research topics at the centres. Additionally, joint applications are made to the EU and other types of projects.*

This special issue is meant to showcase the fruitfulness of joint research. You will find a number of outstanding examples of cooperative research projects in this issue. And I hope reading about them will provide inspiration for other areas. The prevailing idea of cooperation in Styria is that together, more can be achieved.

The summer and the vacation are just about to begin. This issue of TU Graz research *has come out at the right moment: perhaps you'll have more time to devote to the interesting articles in it. In this spirit I hope you enjoy reading this issue of TU Graz* research*, and I wish you and your families a relaxing and pleasant summer.*

Kunststoffe als Wärmemanager für Hightechprodukte

Plastics as Heat Managers for High-Tech Products

Von Laptops bis zu Generatoren: Kunststoffe sind integrale Bestandteile jeder Art von Elektronik und Elektrotechnik. Im Forschungsprojekt „PolyTherm" bündeln Expertinnen und Experten aus Chemie, Materialwissenschaften, Kunststoff- sowie Hochspannungstechnik ihr Fachwissen. Sie entwickeln und testen neuartige Polymere, die in Zukunft leistungsfähigere und kompaktere Hightechprodukte ermöglichen werden.

Immer effizienter, smarter und gleichzeitig kompakter soll nicht nur unsere Alltagselektronik, sondern sollen auch Hochspannungsgeneratoren und Transformatoren werden. Denn der weltweit steigende Bedarf an elektrischer Energie fordert eine Effizienzsteigerung, um höchstmögliche Wirkungsgrade erzielen zu können. Doch die immer leistungsfähigeren Geräte – von Smartphones über Laptops bis hin zu E-Autos und Generatoren – mit ihren hocheffizienten kompakten Bauteilen stellen die Entwicklerinnen und Entwickler vor eine große Herausforderung: Je kleiner die Oberfläche der Bauteile und der Geräte ist, desto herausfordernder gestaltet sich die Wärmeabgabe an die Umgebung. Die

From laptops to generators: plastics are an integral part of every electronic and electrical device. In the research project "PolyTherm" experts from chemistry, materials science, plastics and high-voltage engineering pool their expertise. They're developing and testing novel polymers to facilitate the manufacture of more powerful and compact high-tech products in the future.

Not only our everyday electronics, but also high-voltage generators and transformers need to become more efficient, smarter and at the same time more compact. Because the rising worldwide demand for electrical energy requires an increase in efficiency in order to achieve highest possible effectiveness. But the increasingly powerful devices – from smartphones and laptops to electric vehicles and generators – with their high-efficiency compact parts are placing developers before a key challenge. The smaller the surface area of the components and devices, the more problematic is heat dissipation into the environment. Heat build-up is the most common cause of system outages in electrical devices.

© Lunghammer – TU Graz

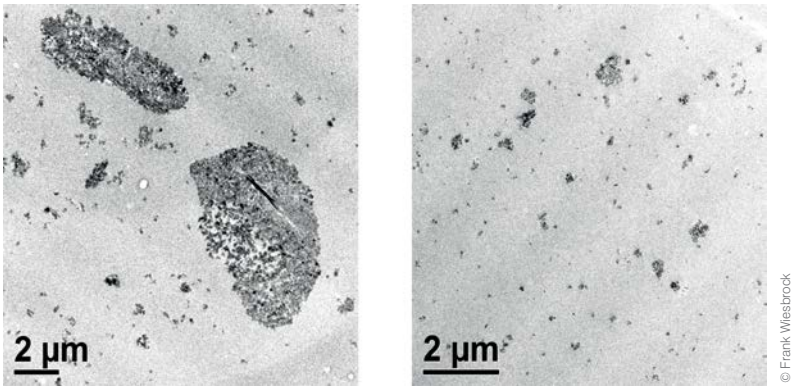
Wärmeentwicklung ist die häufigste Verursacherin von Systemausfällen bei elektrischen Geräten. Bei der Entwicklung von neuen Werkstoffen für Elektronik und Elektrotechnik wird dementsprechend intensiv daran getüftelt, dass alle eingesetzten Materialien so zusammenspielen, dass sie die entstehenden Temperaturen im Rahmen halten können. Dabei spielen Polymere und polymerbasierende Komposite mittlerweile eine unverzichtbare Rolle. Hier handelt es sich um chemische Verbindungen aus langkettigen, mehr oder weniger regelmäßig aufgebauten organischen Molekülen, die im Fall von Kompositen mit anorganischen Materialien versetzt werden. Sie isolieren etwa Hochleistungskomponenten und bilden Schutzschichten auf Platinen. Und geht es nach Frank Wiesbrock, soll in Zukunft das Wärmemanagement mit Kunststoffen noch weiter ausgebaut werden.

Hochleistungskunststoffe im Wärmemanagement

Der Chemiker am Forschungsinstitut Polymer Competence Center Leoben (PCCL) und am Institut für Chemische Technologie von Materialien (ICTM) der TU Graz leitet das interdisziplinäre K-Projekt „PolyTherm – Polymer Composites for Thermally Demanding Applications". Gemeinsam mit Forschenden aus Chemie, Materialwissenschaften, Kunststoff- und Hochspannungstechnik sowie Industriepartnern werden mit dem Projekt mehrere Ziele verfolgt: „Zum einen wollen wir die Temperaturentwicklungen und die damit verbundene Belastung der Materialien in Leistungselektroniksystemen im Simulationsverfahren analysieren. Mit diesen Erkenntnissen können wir die Lebensdauer und Zuverlässigkeit von elektronischen Bauteilen genau abschätzen. Zum anderen werden wir auf Basis dieser Analysen geeignete Polymere und Polymerkomposite mit verbesserten thermomechanischen Eigenschaften entwickeln, die im Einsatz die beste Performance zeigen", so Frank Wiesbrock. >

During the development of new working materials for electronic and electrical devices, much effort is made to ensure that all the used materials work together in such a way as to keep the resulting temperatures in check. The role of polymers and polymer-based composites has meanwhile become indispensable to this. Polymers and polymer-based composites are chemical compounds characterised by long chains of more or less regularly structured organic molecules which, in the case of composites, are mixed with inorganic materials. They insulate high-capacity components and go to form protective layers on circuits. And if it goes the way Frank Wiesbrock says it will, plastics will play a key role in heat management in the future.

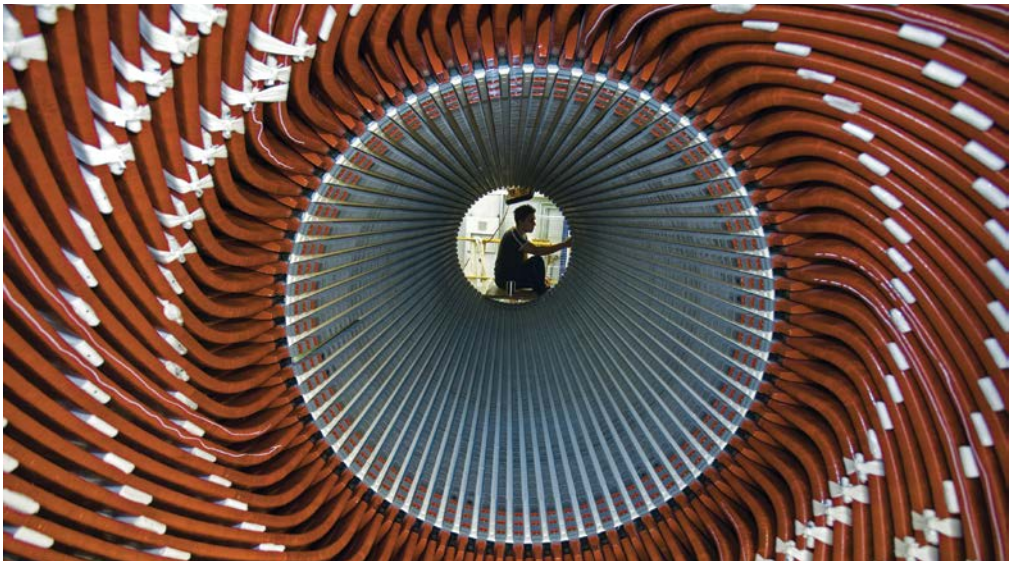
Abbildung 1:
Aggregation von unfunktionalisierten Alumina-Nanopartikeln (links) bzw. statistische Verteilung von oberflächenfunktionalisierten Alumina-Nanopartikeln (rechts) in einem Epoxidharz.
Figure 1:
Aggregation of non-functionalised alumina nanoparticles (left) and statistical distribution of surface-functionalised alumina nanoparticles (right) embedded in epoxy resin.



© Frank Wiesbrock

High-perfomance plastics in heat management

The chemist at the Polymer Competence Center Leoben (PCCL) and the Institute for Chemistry and Technology of Materials at TU Graz heads the interdisciplinary K-project "PolyTherm – Polymer Composites for Thermally Demanding Applications". Together with researchers from chemistry, materials science, plastics and high-voltage engineering as well as industry partners, several objectives are being pursued in the project. "On the one hand, we want to analyse temperature developments and their associated burden on the materials in power electronics systems in simulations. >



© Andritz Hydro

Abbildung 2:
Bau eines Großgenerators.
Figure 2:
Building a large-scale generator.

© industrieblick – Fotolia.com

Abbildung 3: Großindustrielle Fertigung von Transformatoren.
Figure 3: Industrial manufacture of transformers.

Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen

Bei den innovativen Materialkonzepten, die im Projekt „PolyTherm" entwickelt werden, wird dem Thema Umweltverträglichkeit besonderes Augenmerk geschenkt: „Wir entwickeln und testen umweltfreundliche Polymere natürlichen Ursprungs als Alternative zu erdölbasierten Kunstharzen. Wir konnten etwa bereits zeigen, dass sich Rapsöl als gute Basis für die Herstellung von innovativen Isolationskunststoffen eignet", so Frank Wiesbrock. Die Entwicklungen sind auch im Hinblick auf den Arbeitnehmer/-innenschutz wichtig. Denn einige der klassischen, erdölbasierten Epoxidharze enthalten Komponenten, die in hohen Konzentrationen als gesundheitsbedenklich diskutiert werden. Die Entwicklung von alternativen Materialien ist auch aus diesem Grund ein langfristiges Ziel.

Interdisziplinärer Forschungsverbund

Für das vierjährige Projekt „PolyTherm", das Anfang 2017 gestartet ist und im Rahmen des COMET-Programms der FFG mit Mitteln des Infrastruktur- und Wirtschaftsministeriums sowie des Landes Steiermark gefördert wird, steht ein Budget von insgesamt sechs Millionen Euro zur Verfügung. Mit an Bord sind Institute von fünf Universitäten – darunter das Institut für Chemische Technologie von Materialien, das Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement der TU Graz, das unter anderem Belastungsprüfungen und dielektrische Charakterisierungen durchführt, und das Institut für Anorganische Chemie der TU Graz. Sechs Partnerunternehmen aus den Branchen Mikroelektronik und Hochspannungstechnik komplementieren das Kompetenznetzwerk.

These findings will help us to accurately assess the service life and reliability of electronic components. On the other hand, on the basis of these analyses we will be developing suitable polymers and polymer composites with improved thermo-mechanical properties which show the best performance in use," says Frank Wiesbrock.

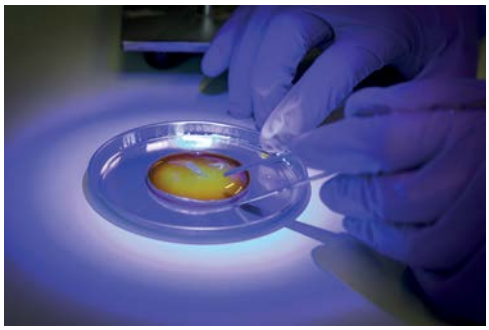
Polymers from renewable raw materials

Special attention will be given to environmental sustainability through the innovative material concepts developed in PolyTherm. "We are developing and testing environmentally friendly polymers with their origin in nature as an alternative to mineral oil synthetic resins. We have already been able to show that rapeseed oil is suitable as a good basis for producing innovative insulating plastics," says Frank Wiesbrock. The developments are also important with regard to employee protection. This is due to the fact that some of the classical, mineral oil based epoxy resins contain components which may pose health risks in high concentrations. For this reason development from alternative materials is also a long-term aim.

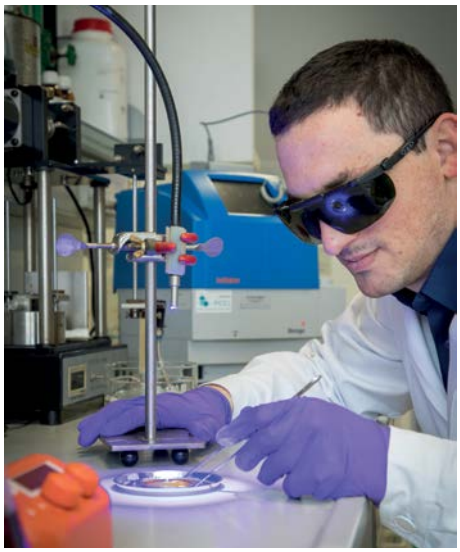
Interdisciplinary research alliance

In the framework of the COMET programme of the Austrian Research Promotion Agency using funds from the Ministry for Science, Research and Economy and the State of Styria, a budget of six million euros is available for the four-year PolyTherm project which started at the beginning of 2017. On board the project are institutes of five universities among which are TU Graz's Institute for Chemistry and Technology of Materials, the Institute of High-Voltage Engineering and System Management which among other things will carry out load tests and dielectric characterisations, and the Institute of Inorganic Chemistry. Six partner companies from the microelectronics and high-voltage engineering sector will augment the competence network.

Abbildung 4+5: Härtung von epoxybasierenden Nanokompositen unter UV-Strahlung.
Figure 4+5: Curing of epoxy-based nanocomposites using UV radiation.



© Lunghammer – TU Graz



© Lunghammer – TU Graz

Polymere mit nanoskalierten Füllstoffen

Kunststoffe sind per se keine guten Wärmeleiter und sind im Allgemeinen nur mäßig temperaturstabil. Mit den Ergebnissen, die im Projekt „PolyTherm" gewonnen werden, soll sich das ändern: Angestrebt wird bei den neuartigen Polymeren eine Temperaturstabilität bis 180 Grad Celsius (Isolierstoff-Klasse H). Im Vergleich: Die derzeitig eingesetzten Polymere sind im Allgemeinen bis 155 Grad Celsius stabil (Isolierstoff-Klasse F). Erreichen wollen das die Forschenden mit anorganischen, nanoskalierten Füllstoffen, die sie in die Polymere einbringen. „Indem wir die Nanopartikel mit den Polymeren kontrolliert kombinieren, können wir neue Kompositmaterialien mit bestimmten Eigenschaften schaffen, die wir ‚finetunen' können", erklärt Frank Wiesbrock.

Durch die nanoskalierten Füllstoffe, mit denen die Polymere versetzt sind, verändern sich deren physikalische und chemische Eigenschaften deutlich. Je kleiner die Nanopartikel sind, desto größer ist ihre Oberfläche. Somit werden Interaktionen mit anderen Partikeln in der Polymerbasis verstärkt, was Festigkeit, Wärmebeständigkeit und die Wärmeleitfähigkeit erhöht.

Im derzeitigen Fokus des Forschungsprojekts steht die Untersuchung von oberflächenfunktionalisierten Nanofüllstoffen. „Metall- und Halbmetalloxide wie Silica oder Alumina kommen weltweit in großen Mengen natürlich vor und werden schon seit Längerem als Füllstoff für Isolatoren in der Kunststoffindustrie eingesetzt. In den vergangenen Jahrzehnten haben sich durch die Fortschritte im Bereich der Nanotechnologie neue Anwendungsmöglichkeiten für diese Füllstoffe, besonders im Hinblick auf ihre Wärmeleitfähigkeit, eröffnet", erklärt Frank Wiesbrock.

Was den Einsatz von Nanofüllern wie beispielsweise Bornitrid so besonders für Materialwissenschaften und Chemie macht, ist der chemische Aufbau: Hexagonales Bornitrid zeigt eine dem Graphit vergleichbare Struktur. Die einzelnen Struktureinheiten des hochpolymeren Bornitrids sind nur sehr schwach gebunden. Diese sorgen dann für eine bessere Haftung zwischen der Matrix, also dem Polymer, und dem nanoskaligen Füllstoff.

Die Forschenden sind nun dabei, Wege zu finden, damit sich die nanoskaligen Füller gleichmäßig in der Kunststoffmatrix dispergieren lassen.

Rissen bei der Ausdehnung und Aushärtung vorbeugen

Eine weitere Herausforderung für die Forschenden ist die thermische Ausdehnung bei der Wärmeentwicklung, die dann zum Problem werden kann, wenn Schichten verschiedener Materialien miteinander verbunden sind. „Einerseits wird die Haftung zwischen Metallen und Polymeren schlechter, wenn sie sich bei steigender Temperatur unterschiedlich ausdehnen. Andererseits kann es bei >

Polymers with nanoscale fillers

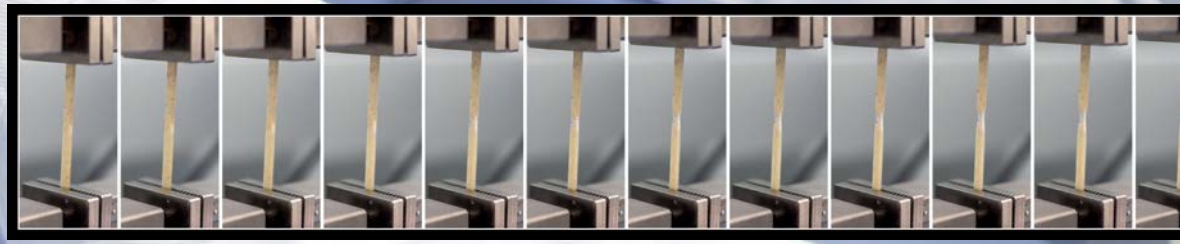
Plastics by definition are not good heat conductors and, in general, only have moderate temperature stability. The results which will be obtained from PolyTherm should change all that. A temperature stability up to 180 degrees Celsius is being sought in the new polymers (insulation class H). In comparison, the polymers currently being used have a general temperature stability up to 155 degrees Celsius (insulation class F). The researchers want to achieve this by attaching inorganic, nanoscale fillers onto the polymers. "By combining the nanoparticles with the polymers in a controlled way, we can create new composite materials with certain properties that we can 'fine tune'," explains Frank Wiesbrock.

© Lunghammer – TU Graz

Abbildung 6:
Darstellung von epoxybasierenden Nanokompositen.
Figure 6:
Representation of epoxy-based nanocomposites.

Nanoscale fillers can be mixed with the polymers to alter the physical and chemical properties. The smaller the nanoparticles are, the larger their surface area. In this way interaction with other particles in the polymer base is enhanced, thus increasing strength, thermal stability and thermal conductivity. Currently, the focus of the research project is on investigating surface-functionalised nanofillers. "Metal and semi-metal oxides such as silica or alumina occur naturally in large quantities throughout the world and have been used as fillers for insulators in the plastics industry for a long time. In the last few decades, progress in the field of nanotechnology has opened up new application possibilities for these fillers, particularly with respect to their heat conductivity," explains Frank Wiesbrock.

What makes the use of nanofillers, such as boron nitride, so special for materials science and chemistry is their chemical structure. Hexagonal boron nitride has a comparable structure to graphite. The individual structural units of the high polymer boron nitride only have very weak bonds. They ensure a better attachment between the matrix – in other words, the polymer, and the nanoscale filler. The researchers are in the process of finding ways of dispersing the nanoscale filler in the plastic matrix equally. >



Polymeren zur Aushärtung und zu Rissen kommen, was sich negativ auf die Isolationseigenschaften auswirkt", erklärt Frank Wiesbrock. Aus diesem Grund versuchen die Forschenden im Projekt „PolyTherm", Polymere so zu designen, dass ein Teil der Molekülkette sein Volumen vergrößert, während der andere Teil der Kette schrumpft. So kann das Volumen des Kunststoffs auch bei der Härtung weitgehend konstant gehalten werden.

Maßgeschneiderte Kunststoff-Bausteine

Geplant ist im Projekt „PolyTherm" zudem die Evaluierung alternativer Herstellungstechnologien. „Polymere und Polymerkomposite weisen für die Hochspannungstechnik ausgezeichnete Materialeigenschaften auf. Da jedoch jedes Bauteil an die vorhandene Umgebung angepasst werden muss, sind auch diese Kleinstbestandteile hochspezialisierte Maßanfertigungen. Derzeit werden die Polymerkomponenten noch nach konventionellen Verfahren hergestellt, die im Allgemeinen kostenintensiv sind", so Frank Wiesbrock. Hier könnte man in Zukunft auf günstigere und schnellere Verfahren setzen, dafür ist aber derzeit nur eine kleine Anzahl von Polymeren geeignet. „Das möchten wir ändern, indem wir den Einsatz bestimmter Additive evaluieren", erklärt Frank Wiesbrock.

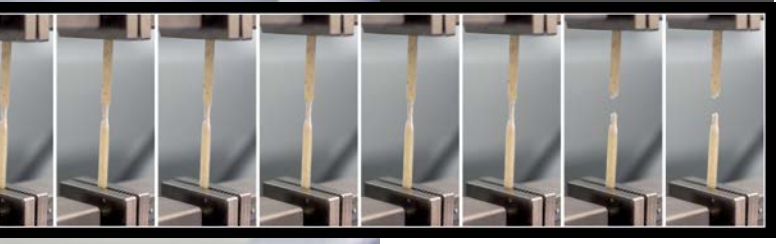
In regionaler Hinsicht stärkt „PolyTherm" die Sichtbarkeit des neu gegründeten Clusters Silicon Alps, der österreichische Akteurinnen und Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlicher Hand bündeln und einmalige Potenziale in der Mikroelektronik und Elektrotechnik eröffnen soll.

Text: Ulrike Keller ■

Abbildung 7:
Aufbau eines Zugprüfversuchs von Nanokompositen.
Figure 7:
Set-up for testing the tensile strength of nanocomposites.

Abbildung 8:
Zugprüfung zur Quantifizierung der mechanischen Stabilität von Nanokomposit-Prüfkörpern.
Figure 8:
Tensile test for quantifying the mechanical stability of nanocomposite test bodies.

© Lunghammer – TU Graz



Preventing tears during expansion and hardening

Another challenge to the researchers is thermal expansion during heat build-up: this can become a problem when layers of different materials are joined. "On the one hand, the bond between metals and polymers becomes worse when they expand differently due to increasing temperature. On the other hand, polymers can develop tears or hardening, something which has a negative effect on the insulation properties," explains Frank Wiesbrock. For this reason, the researchers are trying to design the polymers in such a way that a part of the molecular chain increases its volume, while the other part shrinks. In this way the volume of the plastic can remain largely constant even during hardening.

Tailor-made plastic building blocks

The evaluation of alternative production technologies has been planned in the PolyTherm project. "Polymers and polymer composites have outstanding material properties for high-voltage engineering. But because each part has to be adapted to the available environment, even these smallest elements are subject to highly specialised tailor-made solutions. Polymer components are still manufactured according to conventional methods which are generally cost intensive," says Frank Wiesbrock. But in the future, cheaper and faster processes could be relied on, though currently only a small number of polymers are suitable. "We want to change this by evaluating the uses of certain additives," continues Frank Wiesbrock.

From a regional point of view, PolyTherm enhances the visibility of the newly established Silicon Alps Cluster, which combines Austrian players from science, economy and the public sector and should open up unique potentials in microelectronics and electrical engineering.

Text: Ulrike Keller ■

Advanced Materials Science

Im Field of Expertise „Advanced Materials Science“ gibt es einige hochqualitative Kooperationen mit K1- und K2-Zentren. Darüber hinaus wird ein K-Projekt an der TU Graz geleitet und an einem wird teilgenommen.

Im K2-Zentrum MPPE, das gemeinsam mit dem Materials Center Leoben betrieben wird, wird an integrierter Werkstoff-, Prozess- und Produktentwicklung gearbeitet. Im Zentrum stehen die Kernbereiche der materialtechnischen Prozesskette von Strukturwerkstoffen und mikroelektronischen Werkstoffen. Einblicke in die Arbeit gibt ein Artikel von Romain Bureau, der zentral in das Projekt „AMAG MCL - Modelling of microstructure evolution during cold rolling and contiuous solution annealing of aluminium alloys“ involviert war.

Christof Sommitsch, Leitungsteam FoE „Advanced Materials Science“
Christof Sommitsch, executive team FoE Advanced Materials Science

Außerdem berichten wir ab Seite 4 in der Rubrik „On the Top“ über die Arbeit des K1-Zentrums PCCL, des Polymerkompetenzzentrums Leoben. Hier beschäftigt man sich mit der Herstellung und Verarbeitung von Hochleistungspolymeren. Am K1-Met Zentrum „Competence Center for Excellent Technologies in Advanced Metallurgical and Environmental Process Development“ sind alle TU Austria-Universitäten beteiligt – die TU Graz, die Montanuniversität Leoben und die TU Wien. Gemeinsam mit namhaften Industriepartnern wird hier unter anderem der Stranggussprozess an kleinen Proben getestet, um die Hochtemperatureigenschaften zu bestimmen.

Das TU Graz-Institut für Werkstoffkunde, Fügetechnik und Umformtechnik ist des Weiteren Konsortialführer im K-Projekt „Network of Excellence for Metal JOINing“ und arbeitet gemeinsam mit fünf wissenschaftlichen und zwölf Partnern aus der Industrie an verschiedensten Schweißverfahren. Zusätzlich wurde erst kürzlich das K-Projekt PolyTherm gestartet, in dem die TU Graz-Institute für Chemische Technologie von Materialien, Hochspannungstechnik und Systemmanagement sowie Anorganische Chemie zusammenarbeiten werden. Die Themenstellungen sind: Thermoplast-basierende Isolierkomponenten für Hochspannungstransformatoren und expandierende Polymere sowie kationische Aushärtung von Epoxy-Duroplasten mit maßgeschneiderten Eigenschaften auf Basis von Simulationsverfahren.

Die angeführten COMET-Projekte unterstützen die beteiligten TU Graz-Institute, Forschung auf hohem Niveau zu betreiben, wobei neben dem Bezug zur Anwendung meist genügend Freiraum für die Untersuchung grundlegender Fragestellungen bleibt.

The Field of Expertise Advanced Materials Science participates in a number of COMET competence centres. It furthermore leads one K-Project and is participating in another.

The K2-centre MPPE (Integrated Research in Materials, Processing and Product Engineering) is coordinated by the Materials Center Leoben (MCL). It focuses on the areas of material development, manufacturing processes and the in-service behaviour of metals, ceramics and composites in structural components, tools and electronic components. Romain Bureau's article on the following pages gives a glimpse of the work of the Center.

Furthermore we report on the K1-centre PCCL (Polymer Competence Center Leoben) in the "On the top" section. It leads collaborative research in polymer technology and polymer science in diverse polymer applications, including automotive, aerospace, packaging and solar energy. The K1-Met (Competence Center for Excellent Technologies in Advanced Metallurgical and Environmental Process Development) is run by all three Austrian Universities of Technology – TU Graz, the Montanuniversität Leoben and TU Wien. Together with well known industrial partners the centre focuses on sustainable metal production.

The FoE Advanced Materials Science also coordinates the K-Project Network of Excellence for Metal JOINing and together with five scientific and twelve industrial partners researches various welding processes. Finally the K-Project PolyTherm was recently launched by the Institute for Chemistry and Technology of Materials, Institute of High Voltage Engineering and System Performance, and the Institute of Inorganic Chemistry. The themes of this project are thermoplast-based insulating components for high-voltage transformers and expanding polymers, assembly components with tailor-made geometrical alignment, and cationic curing of epoxy thermosets with tailor-made properties based on simulations.

These COMET projects allow the participating TU Graz institutes to carry out research at a high level. Along with the applied research, there is usually sufficient scope in these projects to investigate fundamental issues.

Modellierung der Mikrostruktur von Aluminium-Legierungen

Modelling the Microstructure of an Aluminium Alloy

Romain Bureau

Zu verstehen, welche Mechanismen hinter der Formgebung von metallischen Legierungen stecken, ist ein wichtiges Anliegen der Industrie. Dabei spielen vor allem Kaltverformung und Rekristallisation, die sowohl Produktionsprozess als auch Materialeigenschaften wesentlich beeinflussen, eine zentrale Rolle.

Aluminium und seine Legierungen sind heute nach Stahl die am zweitmeisten verwendeten Metalle. Vom Transport bis zur Verpackung, in Bauteilen und Fassaden, als dekoratives Element, in der chemischen Industrie oder am Bau – Aluminium ist ein zentraler Bestandteil vieler Anwendungen. Ein Vorteil ist vor allem sein geringes Gewicht bei hoher Stabilität – ein wichtiger Faktor vor allem in der Flug- und Fahrzeugindustrie.

Allzwecklegierungen, die auf dem Al-Mg-Si-System basieren wie 6082, sind für gewöhnlich als Blech oder extrudiertes Produkt zu finden. Sie werden in einer Folge von thermomechanischen Produktionsschritten hergestellt und exakt nach den gewünschten Produktmerkmalen designt.

Obwohl das Design technologischer Legierungen immer noch experimentell ist, können numerische mikroskopische Modelle viele Erkenntnisse über die Beziehung von Mikrostruktur und makrostrukturellen Eigenschaften liefern. Auf diese Werkzeuge sind Industrie und Forschung immer stärker angewiesen.

Kaltverformung

Während des Walzvorgangs verfestigt das Walzgut zunehmend. Der Walzendruck muss daher kontinuierlich erhöht werden, um das Material weiterzuverformen. Dieses physikalische Phänomen, auch Kaltverfestigung genannt, entsteht durch die Zunahme mikrostruktureller Defekte im Material, die während der plastischen (= bleibenden; im Gegensatz zur elastischen) Verformung auftreten. Berücksichtigt man nun die >

Understanding and modelling the mechanisms involved in shaping metallic alloys has become a major concern of manufacturers. Amongst those mechanisms, strain hardening and recrystallization play a critical role, as they impact the production process as well as the material properties.

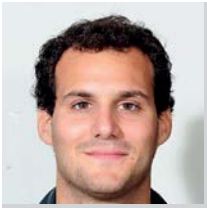
Nowadays, aluminium and its alloys rank second in consumption volumes among metallic materials, surpassed only by steel. From packaging to transportation, in structural parts and facades or for decorative purposes, in the chemical industry, in construction, aluminium has become a key component in all kinds of applications. Especially, its low strength-to-weight ratio has been the primary factor for the development of the aeronautic and automotive industries.

General purpose alloys such as the 6082, based on the Al-Mg-Si system, are commonly found as sheets and extruded products, and are manufactured by a succession of thermo-mechanical steps designed to achieve the desired product characteristics.

Even though the design of technological alloys still relies heavily on experimentation, numerical microscopic models can provide a great deal of insight on the relationship between microstructure and macroscopic properties. For that reason, they are a tool on which industries and research departments rely more and more.

Strain hardening

During the rolling process, the mechanical strength of the material increases. It is then necessary to continuously raise the roll pressure in order to further deform the material. This physical phenomenon, known as strain-hardening, is a result of the rapid increase of microstructural defects in the material during plastic (permanent, in opposition to elastic) deformation. Taking >

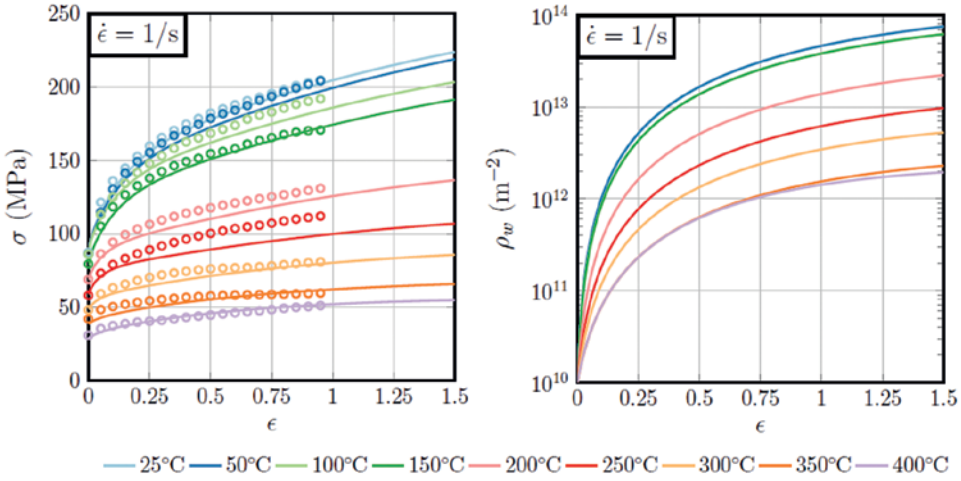


Roman Bureau ist Doktoratsstudent am Institut für Werkstoffkunde, Fügetechnik und Umformtechnik. Das vorgestellte Projekt ist seine Abschlussarbeit.

Roman Bureau is PhD student at the Institute of Materials Science and Welding and carried out the project as his thesis.

Mechanismen, bei denen kristalline Linienfehler – sogenannte Versetzungen – sich multiplizieren und auslöschen, dann ist es möglich, Stoffmodelle zu designen, die die Änderung der Fließspannung – also die Kaltverfestigung – eines Materials mit seinem mikroskopischen Zustand in Verbindung setzen.

into account the mechanisms by which crystalline line defects – called dislocations – multiply and annihilate, it is possible to design constitutive models able to relate the evolution of the flow stress of a material, i.e. the strain hardening, to its microscopic state.



© IWS – TU Graz

Abbildung 1:
Fließspannung (links) und Versetzungsdichte (rechts). Evolution während der Verformung mit einer Dehnungsgeschwindigkeit von 1 s^{-1} und bei verschiedenen Temperaturen. Die Marker sind experimentelle Daten, die kontinuierlichen Linien die Resultate der Modellierung.

Figure 1:
Flow stress (left) and dislocation density (right) evolution during deformation at a strain rate of 1 s^{-1} and various temperatures. The markers are experimental data, and the continuous lines are the model results.

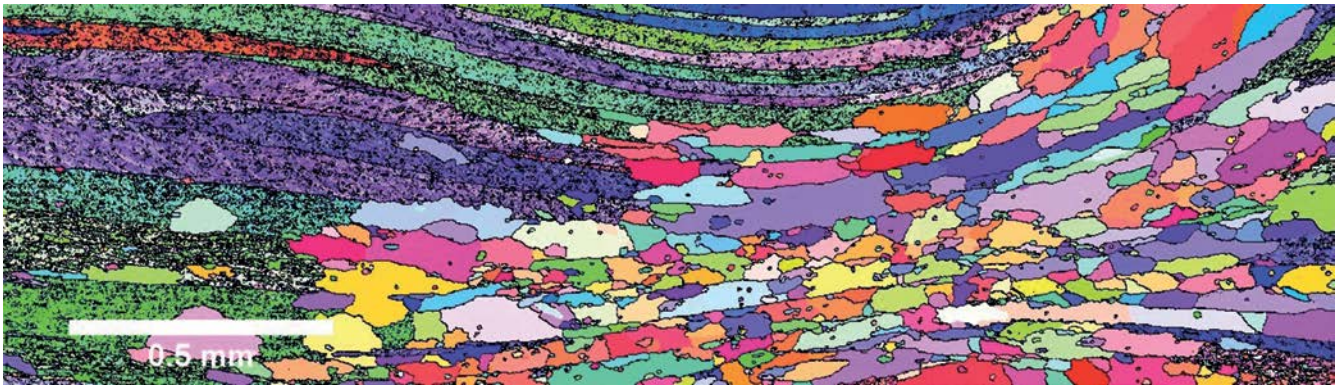
Rekristallisation

Die akkumulierten Defekte in der Mikrostruktur – Versetzungen und Grenzflächen – erhöhen die im Material gespeicherte Energie. Beim Aufheizen werden von Diffusion kontrollierte Mechanismen initiiert, die zur Erholung der kristallinen Struktur und einer Energieabnahme führen. Ist die Glühtemperatur hoch genug, können neue, defektlose Kristalle in hochverformten Regionen nukleieren und in die deformierte Matrix hineinwachsen – dieses Phänomen wird Rekristallisation genannt. Die Korngröße der neu entstandenen Kristalle hängt vom vorangegangenen Deformationslevel ab.

Das heißt: von der im Material gespeicherten Energie, der Glühtemperatur und von Ausscheidungen einer zweiten Phase, die in der Mikrostruktur vorhanden sind.

Recrystallization

The defects accumulated in the microstructure under the form of dislocations and interfaces raise the energy stored within the material. Upon annealing, diffusion-controlled mechanisms are promoted. They allow the crystalline structure to recover and lower its energy by getting rid of the defects. Additionally, when the annealing temperature is high enough, new defect-free crystals can nucleate in the regions of high energy and grow into the deformed matrix – this phenomenon is called recrystallization. The radius of the fully grown crystalline grains depends on the level of deformation previously achieved, i.e. the amount of energy stored in the material, the annealing temperature and the eventual particles of second phase present in the microstructure.



© IWS – TU Graz

Abbildung 2:
Teilweise rekristallisierte Mikrostruktur nach Plain-strain-Verformung bei Raumtemperatur und Glühung bei 300 °C für 20 Minuten. Die Region mit hohem Verformungsgrad rekristallisiert als Erstes.

Figure 2:
Partially recrystallized microstructure after plain strain compression at room temperature and annealing at 300 °C for 20 minutes. The region of high strain recrystallizes first.

Der Einfluss der Erholung ist nicht zu unterschätzen und muss gewissenhaft in jedes Rekristallisationsmodell eingearbeitet werden. Ein solches Modell enthält für gewöhnlich eine Avrami-Gleichung, die, wenn sie mit einem maßgeschneiderten Keimbil-

The influence of recovery on recrystallization is not trivial. It needs to be thoroughly taken into account in any recrystallization model. The latter usually feature an Avrami-type equation, which, when combined with a tailored nucleation model, becomes

dungsmodell kombiniert ist, die Rekristallisationskinetik vorhersagen kann. Die Korngröße vorhersagen zu können, ist eine wichtige Erkenntnis für jeden Hersteller. Sie hat direkte Auswirkungen auf die Materialeigenschaften – wie die Festigkeit, die Atomdiffusion oder die Rissausbreitung.

Mehrskalenmodellierung

Ein großes Anliegen der Industrie ist es, die Produktionsprozesse auf verschiedenen Größenskalen darzustellen. Klassischerweise ist ein Finite Element Model gut geeignet, um die makroskopische Skala abzudecken. Integriert man die konstruktiven und Rekristallisationsmodelle mikroskopischer Vorgänge, kann man die verschiedenen thermomechanischen Schritte im Produktionsprozess einer metallischen Platte verfolgen. Beispielsweise ist es möglich, den aus einem Deformationsprozess resultierenden Spannungszustand oder die resultierende Korngröße bei kontinuierlicher Glühung bei 550 °C zu berechnen.

Diese Projekt wurde in Kooperation mit der AMAG rolling Gmbh, der TU Wien und dem Austrian Institute of Technology durchgeführt.

Finanzielle Unterstützung kam von der Österreichischen Bundesregierung (im Speziellen vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie und vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft), vertreten durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH sowie der Steirischen und der Tiroler Landesregierung, vertreten durch die Steirische Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH und die Standortagentur Tirol, innerhalb der COMET-Programme. ■

able to predict the recrystallization kinetics. Being able to forecast the grain structure is a critical matter for any manufacturer because it directly impacts several material properties, such as mechanical strength, solid state atomic diffusion, and crack propagation, etc.

Multiscale modelling

It has become a major concern of industries to model their production processes at multiple scales. The macroscopic scale is classically dealt with fairly well with a finite element model. By implementing the constitutive and recrystallization models in microscopic routines within the finite element framework, one can follow the various thermo-mechanical steps involved in the production of metallic plates.

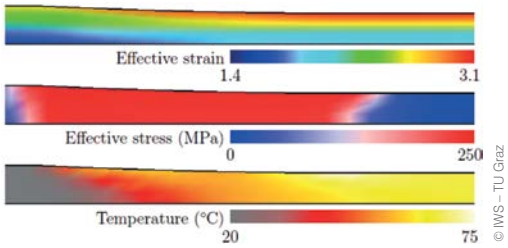


Abbildung 3:
2D-FE-Modell des Walzprozesses mit dem konstitutiven Modell.
Figure 3:
2D-FE modelling of the rolling process with the constitutive model.

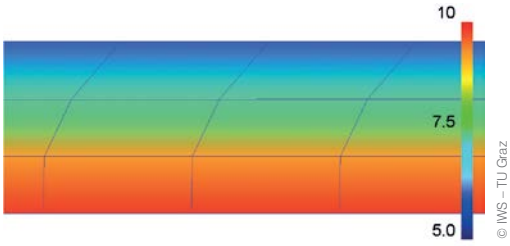


Abbildung 4:
Korngrößenverteilung in der Dicke der Platte nach einer Glühung bei 550 °C für 20 s (in µm).
Figure 4:
Grain size distribution in the thickness of the plate after annealing at 550°C during 20 s (in µm).

For instance, it is possible to calculate the stress involved in the deformation process, or predict the grain radius after continuous annealing at 550 °C.

This project was made in collaboration with AMAG rolling Gmbh, TU Wien and the Austrian Institute of Technology.

Financial support from the Austrian Federal Government (in particular from Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie and Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft) represented by Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH and the Styrian and the Tyrolean provincial government, represented by Steirische Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH and Standortagentur Tirol, within the framework of the COMET funding programme is gratefully acknowledged. ■

Human & Biotechnology

Bernd Nidetzky, Leitungsteam FoE „Human & Biotechnology“
Bernd Nidetzky, executive team FoE Human & Biotechnology

In dieser neuen Ausgabe des TU Graz *research* steht ein zentrales Element unserer Bemühungen, intensiv mit der Industrie zusammenzuarbeiten, im Zentrum: die Competence Centers for Excellent Technologies (COMET). Österreichweit ist die TU Graz die momentan erfolgreichste Universität, was die Einwerbung von COMET-Zentren betrifft. Die derzeitigen Kompetenzzentren arbeiten an einer breiten Vielfalt an Forschungsbereichen quer durch alle Fields of Expertise. Das FoE „Human & Biotechnology“ ist insbesondere an drei Forschungszentren beteiligt: am Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib), am Research-Center Pharmaceutical Engineering (RCPE) und am Know-Center. Dem acib und dem RCPE sind in dieser Ausgabe zwei Artikel gewidmet.

Mitunter wird die Frage aufgeworfen, wie das Verhältnis zwischen Forschung und Entwicklung in den Kompetenzzentren und angewandter Forschung an der Universität ist. Die Möglichkeiten sind vielfältig und können flexibel an die jeweiligen Anforderungen des Projekts angepasst werden. Im besten Fall kommt es zu einer gegenseitigen, unabhängigen Ergänzung der Arbeit oder einer synergetischen Verbindung.

Obwohl die Kompetenzzentren von den Universitäten betrieben werden, sind sie rechtlich gesehen eigene Firmen, die ihre Strategie dementsprechend gestalten müssen. Das FoE ist jedenfalls ein guter Ort, um sich über die zukünftigen Strategien auszutauschen und zu diskutieren, mit dem Ziel, schlussendlich einen für beide Seiten fruchtbaren Weg gehen zu können. Außer gemeinsam interessante Forschung mit den Forschungszentren und deren Industriepartnern zu betreiben, sind die COMET-Zentren auch äußerst erfolgreich in der Einwerbung von High-End-Equipment und -Instrumenten. Es ist ein klarer gemeinsamer Nutzen für die Zentren und die Universität.

Gemeinsame Projekte mit der Industrie sind eine der Grundsäulen der momentan im FoE „Human & Biotechnology“ betriebenen Forschung. Eine weitere Säule sind Grundlagenforschungsprojekte wie die typischerweise vom FWF geförderten. Unsere Forschenden in den FoE sind sehr erfolgreich, was das Einwerben von Forschungsmitteln der Europäischen Kommission betrifft. Unser Markenzeichen ist eine „gesunde“ Mischung aus Fördermitteln, die aus unterschiedlichen Quellen kommen.

In this new issue, TU Graz research *focuses on a central element of the University's broad outreach activities for collaborating with industry: the Competence Centers for Excellent Technologies (COMET). TU Graz is one of the leading Austrian universities regarding successul applications to the COMET programme. The current centers cover a wide range of research areas distributed across the different FoE. For our FoE Human & Biotechnology, three centres are of relevance in particular: the Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib), the Research Center Pharmaceutical Engineering (RCPE) and Know-Center. acib and RCPE are each featured in an article in this issue of TU Graz* research.

One question sometimes asked is what exactly is the relationship between the research and development carried out in the centers and the applied research done at the University? A continuum of possibilities exists which, depending on the requirements of the individual project, ranges from independent complementarity to synergistic integration.

Despite being owned by the University, the centers are companies in their own right and thus need to develop somewhat independent strategies. The FoE is certainly a good place for discussion and exchange of information so that future strategies can be communicated and possibly aligned for optimum confluence and synergy. The FoE has been able to do interesting research together with the centres and their company partners, and the COMET Centers, on their part, have been highly successful in acquiring high-end equipment and instrumentation in the past. There is a clear mutual benefit for both centers and the University.

Projects carried out in collaboration with industry represent a significant pillar of the current research carried out within the FoE Human & Biotechnology. Fundamental research projects, like the ones typically funded by the Austrian FWF, constitute another equally strong pillar of the overall research. Researchers in the FoE have also been quite successful in acquiring projects funded by the European Commission. This FoE is marked by a "healthy" distribution of funding from different sources.

Neue biologische Ansätze für die Synthesechemie

Novel Biological Approaches in Synthesis Chemistry

Martina Geier

Die Pharmaindustrie ist auf der Suche nach nachhaltigen und kostengünstigen Herstellungsverfahren für Medikamente. Im Rahmen des CHEM21-Projekts haben Projektteams an der TU Graz und am Kompetenzzentrum acib gentechnische Werkzeuge entwickelt, um in Zukunft maßgeschneiderte Mikroorganismen für die Arzneimittelproduktion schnell und einfach zur Verfügung zu stellen.

In klassischen Produktionsprozessen werden oftmals bis zu 100 kg an Rohstoffen eingesetzt, um 1 kg an Wirkstoff für Medikamente herzustellen. Diese Ineffizienz stellt nicht nur ein Problem für die Umwelt dar, sondern ist auch maßgeblich für den Preis von Arzneimitteln verantwortlich. Die Knappheit von Edelmetallen wie Platin ist zusätzlich problematisch für die Pharmaindustrie, da diese in vielen Synthesewegen als Katalysatoren eingesetzt werden. Um diese Probleme nachhaltig lösen zu können, braucht es innovative alternative Produktionsmethoden. Das von der EU und von der Innovative Medicines Initiative (IMI) geförderte Projekt CHEM21 arbeitet daran, genau solche neuen Methoden für die Pharmaindustrie des 21. Jahrhunderts zu entwickeln.

CHEM21

Im Rahmen des CHEM21-Projekts haben sich Forschendenteams vom Institut für Molekulare Biotechnologie an der TU Graz sowie vom acib, dem österreichischen Kompetenzzentrum für industrielle Biotechnologie, damit beschäftigt, Konzepte aus der synthetischen Biologie für die Arzneimittelproduktion zu nutzen. Unter synthetischer Biologie, einem relativ jungen Forschungsfeld, versteht man das Konstruieren und Erforschen von nicht-natürlichen biologischen Systemen, um damit unter anderem neue Produkte herzustellen. Eine der ersten umgesetzten Anwendungen und somit auch ein prominentes Beispiel der synthetischen Biologie ist die Herstellung des Malariawirkstoffes Artemisinin in der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae*. Die Entwicklung dieses >

The pharma industry is in search of sustainable and cost-effective manufacturing processes for drugs. In the "CHEM21" project, project teams from TU Graz and acib developed genetic tools to provide tailored microorganisms for quick and straight forward drug production approaches.

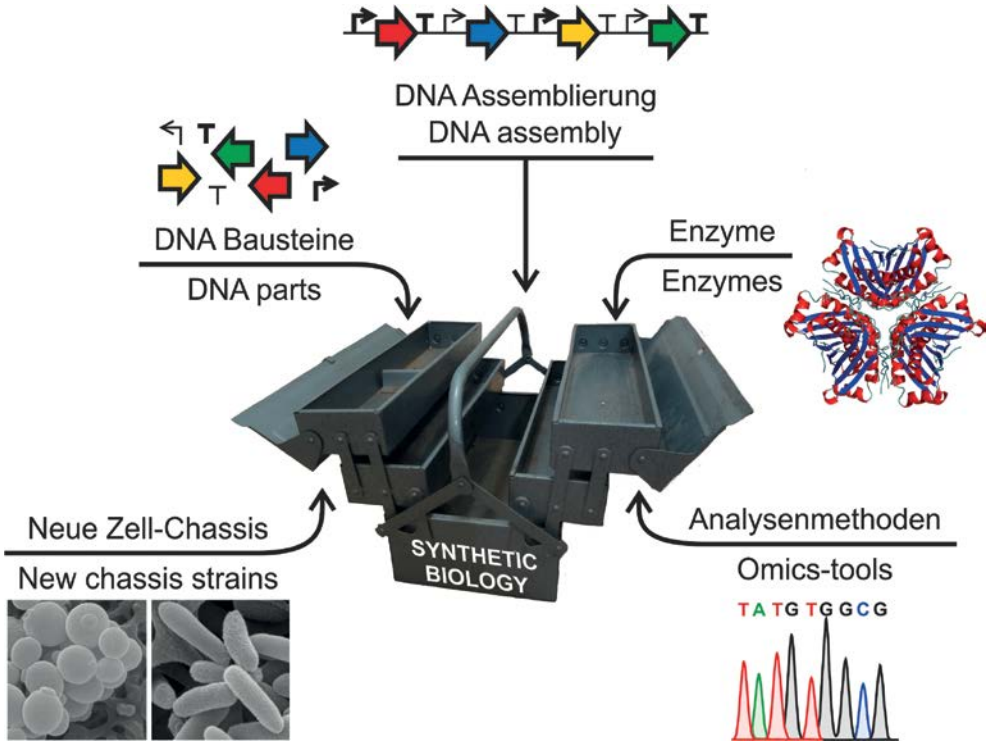
Classical drug production processes often require up to 100 kg of raw materials to manufacture 1 kg of the active ingredient of a drug. This inefficiency does not only constitute a problem for the environment, but is also responsible for the price of current medicines. In addition, the scarcity of precious metals such as platinum is an emerging issue in the pharma industry as they are frequently used as catalysts in many of the current synthesis routes. To solve these problems in a sustainable way, innovative alternative production methods are needed. The CHEM21 project funded by the EU and by the Innovative Medicines Initiative (IMI) is focused on the development of exactly such methods for the pharmaceutical industry of the 21st century.

CHEM21

In the CHEM21 project, research teams from the Institute of Molecular Biotechnology at TU Graz as well as from acib, the Austrian Center for Industrial Biotechnology, have been using concepts from synthetic biology in the production of drugs. Synthetic biology is a relatively young research area and aims to engineer and study non-natural biological systems for new applications, such as getting access to valuable compounds. One of the first realized applications and hence a prominent example for the power of synthetic biology approaches is the production of the anti-malaria drug artemisinin in the baker´s yeast Saccharomyces cerevisiae. However, the development of this yeast strain, which included the implementation of plant-derived biosynthetic pathway steps in the yeast, took several years and required large amounts of research funds. For this reason, one goal of the CHEM21 project was to establish and >

Martina Geier ist Wissenschafterin am Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib GmbH). Ihr aktueller Forschungsschwerpunkt liegt auf der Herstellung von „Designer-Hefen" für neue synthetische Anwendungen.

Martina Geier is a researcher at the Austrian Centre of Industrial Biotechnology (acib GmbH). Her current research focuses on the generation of engineered yeasts for novel synthetic applications.



© Birgit Wiltschi,acib GmbH

Abbildung 1:
Die Werkzeugkiste für den synthetischen Biologen.
Figure 1:
The toolbox of the synthetic biologist.

Hefestamms, die die Übertragung von pflanzlichen Stoffwechselschritten in die Hefe beinhaltete, nahm mehrere Jahre und große Summen an Forschungsgeldern in Anspruch. Ziel im CHEM21-Projekt war es daher, Methoden zu etablieren und zu evaluieren, wie solche maßgeschneiderten Mikroorganismen in kürzerer Zeit hergestellt werden können. Dabei entstand eine „Werkzeugkiste" mit komplementären Komponenten, die in Zukunft für die schnelle und einfache Konstruktion von natürlichen oder synthetischen Stoffwechselwegen in Bakterien und Hefen verwendet werden können.

Wichtige Werkzeuge

Stoffwechselwege zu komplexen Molekülen bestehen aus mehreren Reaktionsschritten, die von Enzymen katalysiert werden. Diese Enzyme müssen im Wirtsorganismus in ausreichender und ausbalancierter Menge produziert werden. Daher sind Promotoren – genetische Schalter, die die Produktion von Enzymen regulieren – wichtige Werkzeuge, um hohe Produktausbeuten zu erzielen. Das

© Lukas Sturmberger, acib GmbH

Abbildung 2:
Im Labor werden die neuesten Ergebnisse besprochen.
Figure 2:
The latest results are discussed in the lab.

evaluate methods to generate such tailored microorganisms in a more straight-forward way in less time. In this process, a "toolbox" with complementary elements was developed that can be used for the quick and simple construction of natural or synthetic pathways in bacteria and yeasts in the future.

Important tools

Pathways for the biosynthesis of complex molecules usually consist of several reaction steps that are catalyzed by enzymes. These enzymes have to be produced in sufficient and balanced amounts in the host system. Therefore, promoters – genetic switches that regulate enzyme production – are important tools to increase the yields of the final product. For the biotechnologically relevant yeast Pichia pastoris, the CHEM21 team at the Institute of Molecular Biotechnology identified a set of promoters that vary in strength and regulatory profiles. Consequently, these promoters were used by acib scientists to successfully reconstruct pathways for the production of β-carotene (the orange pigment found e.g. in carrots) and violacein (an antibacterial purple pigment) in the yeast. The resulting colored yeast strains were not only great fun to work with in the lab, but the intensive coloration also indicated high product quantities.

New concept

For the simultaneous production of several enzymes, an alternative approach was tested. In higher organisms, each gene generally requires an individual promoter that drives its expression. This fact can cause problems particularly when large pathways consisting of 10 or more enzymes have to be re-

CHEM21-Team am Institut für Molekulare Biotechnologie hat für die biotechnologisch relevante Hefe *Pichia pastoris* ein Set an neuen Promotoren identifiziert, die sich in ihrer Stärke und in ihrem Regulationsprofil unterscheiden. Diese Promotoren wurden von acib-Forschenden in weiterer Folge verwendet, um Stoffwechselwege für die Produktion von β-Carotin (oranger Farbstoff z. B. in Karotten) und Violacein (violettes Pigment mit antibakterieller Wirkung) erfolgreich in der Hefe nachzubilden. Die resultierenden bunten Hefestämme sorgten dabei nicht nur für Spaß im Labor, sondern zeigten durch ihre intensive Färbung auch hohe Produktmengen an.

Neues Konzept

Für die simultane Produktion von mehreren Enzymen in Hefen wurde zusätzlich eine alternative Herangehensweise getestet. Normalerweise benötigt man in höheren Organismen für jedes zu produzierende Enzym einen separaten Promotor, der die Expression des zugehörigen Gens steuert. Beim Nachbauen von sehr großen Stoffwechselwegen, die aus zehn oder mehr Enzymen bestehen, kann das zu Problemen führen, z. B. erschwert die Größe des DNA-Konstrukts alle molekularbiologischen Arbeitsschritte. Mehrere Gene können aber auch unter nur einem Promotor exprimiert werden. Diese sogenannte polycistronische Expression kommt in Bakterien natürlich vor, in Hefen kann sie durch den Einsatz von spezifischen DNA-Elementen realisiert werden. Im Rahmen des CHEM21-Projekts konnte gezeigt werden, dass selbstprozessierende 2A-Sequenzen als Werkzeuge für diesen Zweck genutzt werden können. Erstmals wurden neun Gene polycistronisch in *Pichia pastoris* exprimiert und die produzierten neun Enzyme resultierten in funktionellen Stoffwechselwegen.

Weiterer Weg

Die ersten Werkzeuge, darunter auch Assemblierungstechniken sowie modifizierte Plattformstämme mit verbesserten Eigenschaften, die gemeinsam in Graz entwickelt wurden, sind bereits an Projektpartner aus der Pharmabranche weitergegeben worden, wo sie jetzt auf ihre Anwendbarkeit im industriellen Maßstab getestet werden. Es wird sich zeigen, ob einige davon in zukünftigen Produktionsprozessen Anwendung finden und chemische Syntheseschritte ersetzen, um so dem Ziel der nachhaltigen und kostengünstigen Arzneimittelproduktion näherzukommen. Die komplementären Expertisen sowie die gute Vernetzung zwischen dem Institut für Molekulare Biotechnologie und dem acib haben nicht nur zu einem erfolgreichen Abschluss des Projekts geführt, sondern auch die Grundlagen geschaffen, um neue Herausforderungen im Bereich der synthetischen Biologie in Angriff nehmen zu können. ■

constituted. In many cases, the sheer size of the DNA construct complicates all subsequent molecular biological steps. However, multiple genes can also be expressed using only one promoter. This polycistronic way of expression occurs naturally in bacteria while in yeasts specific DNA elements are required to realize it. It was shown in the CHEM21 project that self-processing 2A sequences constitute efficient tools for this purpose. For the first time, nine enzymes were produced polycistronically in Pichia pastoris, which resulted in functional biosynthesis pathways.

© Birgit Wiltschi, acib GmbH

Next steps

Some of the synthetic biology tools jointly developed in Graz, among them assembly techniques and modified platform strains with improved properties, have already been transferred to project partners from the pharmaceutical industry to evaluate their applicability on an industrial scale. It remains to be seen whether some of them will find their way into future manufacturing processes. Perhaps they will replace organic synthesis steps and advance the production of sustainable and cost-effective pharmaceuticals. The complementary expertise as well as the high degree of interactions between the Institute of Molecular Biotechnology and acib resulted not only in a successful completion of the project but also built the basis for tackling new challenges in the field of synthetic biology. ■

Abbildung 3:
Das Einbringen von neuen Stoffwechselwegen führt zu Mikroorganismen mit neuen Eigenschaften, die in Zukunft für die Herstellung von Medikamenten genutzt werden können.
Figure 3:
The implementation of biosynthetic pathways results in microorganisms with new features that can be exploited in the future production of drugs.

© Martina Geier, acib GmbH

Abbildung 4:
Bunte Hefestämme, die natürliche Farbstoffe produzieren.
Figure 4:
Colored yeast strains producing natural pigments.

Information, Communication & Computing

Kay Uwe Römer, Leitungsteam FoE „Information, Communication & Computing“
Kay Uwe Römer, executive team FoE Information, Communication & Computing

Ende März fand erstmals ein FoE-Tag „Information, Communication & Computing“ in der Aula der Alten Technik mit etwa 100 Besucherinnen und Besuchern – ein beträchtlicher Teil davon aus Unternehmen – statt. Unter dem Motto „Die Digitalisierung der Welt?“ wurden nicht nur die Segnungen dieses Trends diskutiert, sondern auch die damit verbundenen Herausforderungen.

Eine Außensicht des FoE wurde durch Vorträge von Michael Jerne, NXP, und Michael Paulweber, AVL, vermittelt. Michael Jerne zeigte am Beispiel Sicherheit eine der großen Herausforderungen bei der Digitalisierung auf. Michael Paulweber verdeutlichte am Beispiel des automatisierten Fahrens, dass aktuelle Forschungsfragen eine enge Zusammenarbeit über Disziplingrenzen hinweg erfordern.

In drei weiteren Vorträgen wurden diese Impulse durch FoE-Experten aufgegriffen. Gerald Steinbauer, Institut für Softwaretechnologie, zeigte in seinem Vortrag, wie die Digitalisierung die Grenzen zwischen Robotern, Menschen, realer und virtueller Welt verschwinden lässt. Johannes Wallner, Institut für Geometrie, erläuterte, wie eine Zusammenarbeit mit Architektinnen und Architekten sein Selbstverständnis der Mathematik infrage gestellt hat. Gernot Kubin, Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation, beschloss den Reigen der Vorträge mit einem Blick auf die – auch historische – Rolle der Signalverarbeitung bei der Digitalisierung und ließ sogar den allseits bekannten Hollywood-Außerirdischen E.T. zu Wort kommen. Den krönenden Abschluss der Veranstaltung bildete eine Ausstellung mit mehr als 30 Demonstrationen und Postern aus allen Bereichen des FoE.

Auch das Know-Center, als eines der COMET-Kompetenzzentren im Themenbereich „Information, Communication & Computing“, hat einige seiner Arbeiten vorgestellt. Im folgenden Artikel berichtet Roman Kern am Beispiel einer Kooperation zwischen KNOW-Center, TU Graz und einem Unternehmen, wie der Einsatz moderner Big-Data-Analyseverfahren die Nachfrage nach Smartphones besser vorhersagen kann. Birgit Baustädter stellt das gerade neu gegründete Kompetenzzentrum Pro2Future vor, wo unter Beteiligung von Informatik, Elektrotechnik und Maschinenbau österreichische Unternehmen bei der Realisierung zukünftiger intelligenter Produkte und deren Produktion unterstützt werden sollen.

The first FoE Information, Communication & Computing day took place at the end of March in the main auditorium at Alte Technik. It raised significant interest among the approximate 100 participants, many of them from partner companies. Under the headline “Digitalization of the World?” not only were the benefits of this trend discussed, but also the challenges.

An external view of the FoE was conveyed to the audience by presentations from Michael Jerne, of NXP and Michael Paulweber, of AVL. Michael Jerne discussed security as one of the major challenges of digitalization, while Michael Paulweber used the example of automated driving to show that answering recent research questions requires a close collaboration among multiple disciplines.

These impulses were taken up by the following talks of three FoE experts. Gerald Steinbauer, Institute of Software Technology, discussed how digitalization removes the borders between robots, humans, and real and virtual worlds. Johannes Wallner, Institute of Geometry, explained how a cooperation with architects changed his view of mathematics. Finally, Gernot Kubin, Institute of Signal Processing and Speech Communication, spoke about the – also historical – role of signal processing in digitalization and also allowed the Hollywood alien E.T. to speak. The concluding highlight of the event was an exhibition with more than 30 demonstrations and posters from all areas of the FoE.

Know-Center, one of the COMET competence centers in the area “Information, Communication & Computing” also presented some of its work during our FoE event. In his article Roman Kern illustrates the successful cooperation of KNOW Center, TU Graz and a company in applying big data analytics to better forecast demand for smartphones. In the article Pro2Future, Birgit Baustädter introduces the newly founded Pro2Future competence center, where the participating Faculties of Computer Science and Biomedical Engineering, Electrical and Information Engineering, and Mechanical Engineering and Economic Sciences support Austria’s companies in the realization of future intelligent products and their production.

Demand Forecasting
Demand Forecasting

Roman Kern

Innovation und disruptive Änderungen am Markt haben einen starken kurz- bis mittelfristigen Einfluss auf Marktteilnehmende. Im Smartphone-Segment, in dem neue Produkte in sehr kurzen Zyklen vermarktet werden, ist es notwendig, die Nachfrage präzise vorherzusagen und wesentliche Änderungen am Markt früh zu erkennen. Anhand eines Big-Data-Ansatzes können wir die Nachfrage für das Smartphone-Segment vorhersagen und konnten zudem ein Frühwarnsystem für Marktänderungen entwickeln.

Globalisierung und die immer schnellere technologische Entwicklung sind enorme Herausforderungen für Industrieunternehmen, die ihre Planung und Produktion in immer kürzeren Zyklen anpassen müssen, um komplexen und volatilen Märkten zu begegnen. Insofern ist es von zentraler Bedeutung, die Marktnachfrage zu beobachten und wesentliche Änderungen frühzeitig zu identifizieren. Wichtige Smartphone-Hersteller, die vor zehn Jahren den Markt dominierten, haben mittlerweile ihre Marktanteile verloren oder sind ganz verschwunden. Solche signifikanten Änderungen haben spürbare Auswirkungen auf Zulieferer elektronischer Komponenten, die ihre Produktion oft Monate im Voraus planen.

Im Projekt „AT&S Demand Forecasting" wenden wir einen Big-Data-Ansatz an, um erstens einen Prototyp eines Frühwarnsystems für wesentliche Änderungen der Smartphone-Marktnachfrage zu entwickeln und um zweitens mittelfristige Trends in der Smartphone-Marktnachfrage vorherzusagen. Dieses Projekt ist eine Kooperation zwischen AT&S, dem österreichische High-End-Leiterplattenhersteller, dem Institut für Innovation und Industrie Management (TU Graz) und dem Know-Center, Österreichs Forschungszentrum für Data-driven Business und Big Data Analytics.

Big Data

Im Rahmen dieses Projektes wurden für die >

Market disruptions and innovation strongly impact its stakeholders on a short- to mid-term perspective. In the particular case of the smartphone market, where new products are released in very short cycles, it becomes imperative to forecast and identify heavy shifts in market demand as soon as possible. We employ a big data approach to forecast market demand and to issue early warnings on market-changing events in the smartphone business.

Globalization and rapid technological development are becoming increasingly important challenges for industrial enterprises. In particular, they need to adjust planning and production to preempt changes in complex and volatile markets. To that end, it is crucial to monitor and identify market changes, which potentially impact market demand. For example, consider the case of famous manufacturers of cell phones from 10 years ago. These vendors were at some point in time the dominant force in the mobile phone and smartphone markets. However, their market shares collapsed rapidly, and they either vanished from the market entirely or they play minor roles today. Such significant changes in the market greatly impact the plans and performance of electronic parts suppliers, which need to plan their production pipeline often semesters in advance.

In the AT&S Demand Forecasting project, we devised a big data approach to first prototype an early warning system on fundamental changes, and secondly forecast mid-term trends in smartphone market demand. This project was a cooperation between AT&S, an Austrian high-end printed circuit board manufacturer, the Institute of Innovation and Industrial Management (TU Graz) and the Know-Center, Austria's leading research center for data-driven business and big data analytics.

Big data

In the context of this project, big data consists of both internal data from AT&S's enterprise >

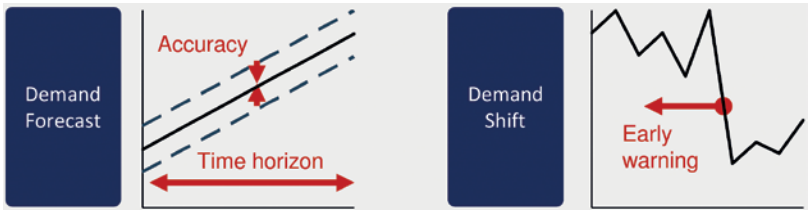
Roman Kern ist der Leiter der Knowledge Discovery Area am Know-Center, Österreichs Forschungszentrum für Data-driven Business und Big Data Analytics, und Universitätsassistent an der TU Graz, wo er im Bereich Information Retrieval, Natural Language Processing, Machine Learning und Data Analytics arbeitet.

Roman Kern is the head of the Knowledge Discovery area at the Know-Center, Austria's leading research center for data-driven business and big data analytics, and university assistant at TU Graz. His work focuses on information retrieval, natural language processing, machine learning and data analytics.

Big-Data-Analyse sowohl AT&S-interne Datenquellen, wie Enterprise Resource Planning und andere Buchhaltungssysteme, als auch externe Datenquellen wie finanzielle und ökonomische Indikatoren von EuroStat bzw. OECD verwendet. Bei den externen Datenquellen wurden nicht nur makroökonomische Indikatoren, sondern auch Finanzdaten von anderen Unternehmen der Halbleiterindustrie berücksichtigt. Der gesamte Datenbestand, den wir verarbeitet haben, ist mehr als 300 Gigabyte groß und enthält mehr als 800 Millionen Zeilen. Unser Datenverarbeitungsprozess besteht aus mehreren Schritten. Zuerst extrahieren wir Daten aus unterschiedlichen Quellen mit unterschiedlichen Formaten. Im Anschluss harmonisieren wir diese unterschiedlichen Formate und gelangen somit zu einer einheitlichen Datenstruktur. Zuletzt übertragen wir die harmonisierten Daten auf den Big-Data-Rechencluster des Know-Centers, der aus 144 Intel Xeon CPUs, 1.5 Terabyte Arbeitsspeicher und 180 Terabyte Hauptspeicher besteht.

resource planning and accounting systems as well as external data sources, such as financial indicators from Standard & Poors and economic indicators from EuroStat or OECD. The latter group of datasets includes data on macro-economic factors and data specific to the printed circuit board industry. In total, we processed more than 300 gigabytes and more than 800 million instances of both internal and external data. Processing data is, in this sense, an approach consisting of multiple steps. We begin with data extraction, which entails gathering data from numerous different data sources, each with different data formats. Then, we transform and clean these different data sources into a single common data structure. Finally, we upload this processed data to the Know-Center Big Data Cluster, a set of machines comprising a total of 144 Intel Xeon CPU cores, 1.5 terabyte RAM, and 180 terabyte disk space.

Abbildung 1:
Im Projekt „AT&S Demand Forecasting" wurden Big-Data-Ansätze verwendet, um zwei Projektziele zu erfüllen: den Verlauf der Nachfrage am Smartphone-Markt vorherzusagen und große Änderungen in der Nachfrage früh zu erkennen.
Figure 1:
The AT&S Demand Forecasting project employed big data techniques to address two use cases: forecasting the evolution of demand in the smartphone market and issuing early warnings of possible large shifts in demand.



© Stefan Heidmann (IBL)

Beherrschung der Datenflut

Für die Analyse der Daten wenden wir Werkzeuge der Zeitreihenanalyse an, bei der eine Reihe zeitlich aufeinanderfolgender Datenpunkte untersucht und deren Entwicklung vorhergesagt wird. Da unendlich viele Zeitreihen aus unseren Daten extrahiert werden könnten, reduzieren wir mithilfe von Domänenwissen die Anzahl auf mehrere zehn Millionen von Zeitreihen, die für die weitere Analyse ausgewählt werden. Ferner lassen wir zum Beispiel Zeitreihen ohne Vorlaufcharakter oder direkte Korrelation mit der Smartphone-Marktnachfrage außen vor und reduzieren so den Datensatz

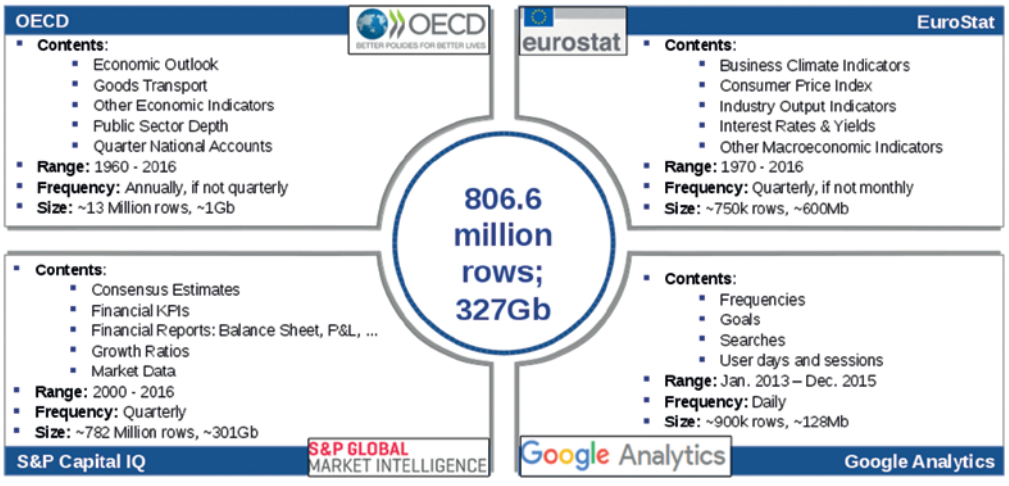
Taming the data deluge

We address the project objectives with tools from time series analysis, of which an infinite amount can be extracted from the data we gathered. Employing domain and business knowledge, we find a suitable set of time series to be analyzed. We narrow down the number of time series further by selectively filtering those with desirable properties such as high direct and lagged (cross-) correlation with smartphone market demand. This filtering step reduced the amount of time series to analyze from tens of millions to tens of thousands. Then, we model the market demand forecast and shift detection problems as separate time series outlier detection and forecast problems.

Tackling the use cases

As far as the market demand shift detection problem is concerned, we focused on identifying the downfall of a major vendor in the smartphone market with respect to a peer group of unaffected ones. To identify such an event, we derived a set of 23 market indicators, where that major vendor performed

Abbildung 2:
Dieses Bild zeigt einige der Big-Data-Quellen, die in diesem Projekt zur Analyse herangezogen wurden. Wir zeigen Statistiken zum gesamten Datenbestand, ohne weitere Details zu den AT&S-internen Datenquellen zu nennen.
Figure 2:
This figure depicts some of the contents of the big data sources analyzed in this project. We highlight the total amount of rows and data size and we omit further details on AT&S' internal data sources.



© Roman Kern (Know-Center) und die jeweiligen Markeninhaber (EuroStat, Google, OECD, S&P)

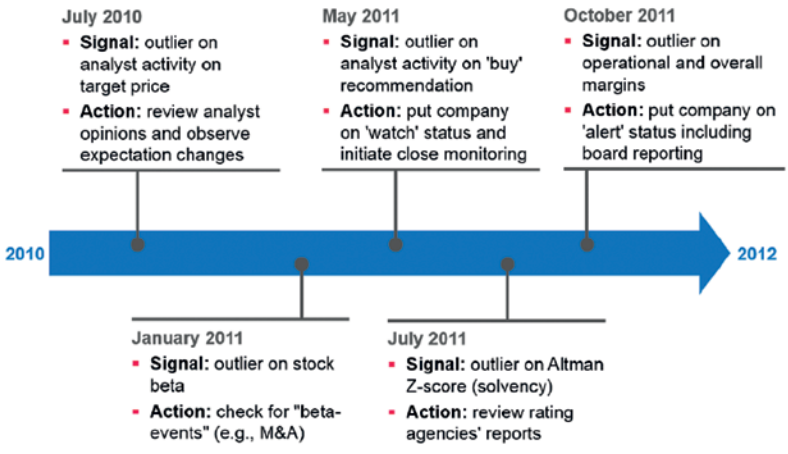
auf Zehntausende von Zeitreihen. Im Anschluss modellieren wir die Marktnachfrage für die Vorhersage des Smartphone-Marktes mit Methoden der Zeitreihenvorhersage sowie Ausreißer-Erkennung, die eine frühe Identifizierung von wesentlichen Änderungen der Marktnachfrage erlauben.

Erreichen der Projektziele

Für die rasche Identifizierung von wesentlichen Änderungen in der Marktnachfrage haben wir darauf fokussiert, den Niedergang eines großen Smartphone-Anbieters in Bezug zu seiner Peergroup von Konkurrenten nachzuvollziehen. Um ein solches Event zu erkennen, haben wir 23 Markt-Indikatoren identifiziert, in der sich die Performance des großen Smartphone-Anbieters signifikant von der seiner Peergroup unterschieden hat. Die Signifikanz der Unterschiede in der Performance bezieht sich hier auf einen Ausreißer-Score, der die Markt-Indikatoren zusammenfasst. Hier unterscheiden sich die Werte des großen Anbieters signifikant vom Durchschnitt der Peergroup. Mit dem Ausreißer-Score ist es gelungen, ein Signal zu extrahieren, bei dem der ausgewählte Anbieter anhand seines Verhaltens schon sechs Monate vor seinem großen Verlust an Marktanteilen identifiziert werden konnte. Dieses Signal kann als Basis eines Frühwarnsystems zusammen mit einem Aktionsplan dienen.

Im Rahmen der Vorhersage der Smartphone-Marktnachfrage haben wir sowohl einen kategorischen als auch einen kontinuierlichen Ansatz gewählt, um den Verlauf der Smartphone-Marktnachfrage mit einem Vorhersagenhorizont von zwölf Monaten vorherzusagen. Beim kategorischen Ansatz haben wir die Smartphone-Marktnachfrage in drei Klassen (stark negatives Wachstum, kein Wachstum und stark positives Wachstum) aufgeteilt und unterschiedliche Klassifikator-Algorithmen, wie zum Beispiel Support Vector Machines, auf unsere reduzierte Menge an Zeitreihen trainiert. Beim kontinuierlichen Ansatz haben wir die lineare Regression (mit derselben Menge an Zeitreihen) angewandt, um den Verlauf der Smartphone-Marktnachfrage direkt vorherzusagen. Mit beiden Ansätzen wurden Trends in der Smartphone-Marktnachfrage erkennbar. ■

significantly different than its peer group. In this context, "significantly different" is the result of an outlier score. This outlier score summarizes the amount of indicators where a given vendor's performance significantly deviates from average peer group performance. Using the outlier score, clear signals indicated outlier behavior in the major vendor up to 6 months prior to its significant loss of market share. These signals can form the basis of an early warning system with a dedicated action plan.



© Stefan Heldmann (IBL)

Regarding the demand forecasting problem for the smartphone market, we aimed to provide both a categorical and a continuous forecast on the evolution of the smartphone market demand growth 12 months into the future. We categorized market demand growth in three classes (strongly negative, around zero and strongly positive growths) and trained a number of classifiers, such as Support Vector Machines, to use our reduced set of tens of thousands of time series to output one of those three classes. Furthermore, we derived a linear model to forecast smartphone market demand growth as a linear regression of, again, our reduced set of tens of thousands of time series. Both the classifier as well as the forecasting model captured overall market trends. ■

Abbildung 3:
Fünf Indikatoren eines großen Smartphone-Anbieters zeigen sukzessive signifikante Ausreißer gegenüber dem Markt und einer Peergroup des Anbieters.
Figure 3:
A set of five metrics indicates outlier behavior successively observed in a major smartphone vendor significantly deviating from the market and its peers' performance. This exemplary outcome of our project can be used to create an early warning system with a dedicated action plan.

Mobility & Production

Helmut Eichlseder, Leitungsteam FoE „Mobility & Production“
Helmut Eichlseder, executive team FoE Mobility & Production

Im Field of Expertise „Mobility & Production“ spielt die Kooperation mit den Kompetenzzentren und kompetenzzentrumsähnlichen Einrichtungen der TU Graz eine elementare Rolle. Diese Einrichtungen sind zumeist aus Aktivitäten von TU Graz-Instituten hervorgegangen, die ja auch als Basis für die bei der Antragstellung nachzuweisende Kompetenz erforderlich sind. Die in der Folge aufgebaute, in Tiefe und Breite gewachsene Kompetenz der Zentren hat auch dazu geführt, dass eine intensive Kooperation zumeist übergreifend mit mehreren Fields of Expertise entstanden ist.

Als essenzielle Erfolgsfaktoren für eine hervorragende Kooperation zwischen einem Zentrum und der TU Graz haben sich dabei der intensive Austausch und vor allem eine enge persönelle Verschränkung bewährt. Dies mag einer persönlichen Sichtweise entsprechen, die aber auf mehrfacher Erfahrung beruht: Aus dem Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik sind gleich mehrere Zentren und Projekte hervorgegangen: Am Institut wurde das überhaupt erste COMET-Kompetenzzentrum an der TU Graz, das K-ind ACC (Acoustic Competence Center) beantragt, das nach seinem planmäßigen Auslauf im Kompetenzzentrum „Virtuelles Fahrzeug“ oder „Virtual Vehicle“ aufgegangen ist. Und auch das mittlerweile zum zweiten Mal genehmigte Großmotoren-Kompetenzzen-trum LEC EvoLET wurde hier beantragt. Diese Vorgehensweise hat sich hervorragend bewährt, sieht man sich darüber hinaus den Erfolg des ebenfalls am Institut angesiedelten K-Projekts Eco Powerdrive2 sowie der kompetenzzentrumsähnlichen Forschungseinrichtung HyCentA an.

Ein Beispiel für die Aktivitäten des Kompetenzzentrums LEC EvoLET finden Sie auf den folgenden Seiten. Die Forschung auf dem Gebiet des autonomen Fahrens, die im Kompetenzzentrum „Virtuelles Fahrzeug“ passiert, finden Sie ab Seite 30. Um diese Forschung weiter voranzutreiben, besteht seit Jahren eine intensive Kooperation zwischen dem „Virtuellen Fahrzeug“ und mehreren Instituten der TU Graz.

Auch der „Production“-Schwerpunkt des Field of Expertise befindet sich derzeit in einer spannenden Phase: Mit Ende März 2017 wurde zur Finanzierung der „Smart Factory“ der TU Graz der Vollantrag für eine FFG-Pilotfabrik Industrie 4.0 eingereicht. Neben der Definition und Ausformulierung von sechs thematischen Schwerpunkten gelang die Aufstellung eines Konsortiums aus insgesamt 20 Unternehmen. Vorausgesetzt, dass der Förderantrag genehmigt wird, ist damit die „Smart Factory“, die als interdisziplinäre Forschungs- und Trainingsinfrastruktur der gesamten TU Graz konzipiert wird, im Zeitplan und auf Schiene.

Cooperation with competence centers as well as with institutions similar to competence centers at TU Graz play a fundamental role in the Field of Expertise Mobility & Production. These institutions developed mainly from the activities of TU Graz institutes, serving as a necessary basis for the professional expertise in the application process. Thus, the competence of the centers – extended in both breadth and depth – has led to an intensive cooperation with other Fields of Expertise.

An essential factor of success for an excellent cooperation between a center and TU Graz proves to be an intensive exchange and, especially, a close personal interrelation. This may be a personal viewpoint, but one based on multiple experiences: several centers and projects emerged from the Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics. The institute applied for the first ever competence center at TU Graz – the K-ind ACC (Acoustic Competence Center), which merged, after its scheduled contract period, into the competence center Virtual Vehicle. In addition the institute also applied for the large engine competence center LEC EvoLET, which was just approved for the second time. This strategy has also proven highly successful for both the K-project Eco Powerdrive2, with the Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamic as consortium leader, and for HyCentA, a research institution similar to a competence center.

An example of LEC EvoLET activities is shown on the following pages. And you can find a report of the research in the field of autonomous driving done by the Virtual Vehicle competence center on page 30. In order to forge ahead with the latter topic, a close cooperation has been established between Virtual Vehicle and several institutes of TU Graz.

The “production” focus of our Field of Expertise is currently also in an exciting phase. The full proposal for financing the “smart factory” of TU Graz, an FFG pilot factory industry 4.0 was submitted at the end of March 2017. Along with the definition and the concrete formulation of six topical focuses, the setting-up of a consortium with 20 companies in total was completed. Providing approval of the funding application goes through, the “smart factory”, which serves as an interdisciplinary research and training infrastructure for TU Graz as a whole, is off the ground and on schedule.

Warum man in der Großmotorenforschung weiter Gas gibt

Why Large Engines Research Steps on the Gas

Andreas Wimmer

Die Erreichung der ambitionierten Umweltziele stellt die Forschung weltweit vor die zentrale Herausforderung, innovative und nachhaltige Lösungen im Bereich der Mobilität, des Transports und der Energieerzeugung zu entwickeln. In Zusammenhang mit dem Thema Elektromobilität wird dabei häufig die Frage gestellt, ob zukünftig Forschung im Bereich von Verbrennungsmotoren überhaupt noch notwendig sein wird.

Elektroantriebe, so sinnvoll diese für die urbane Mobilität sind, stellen jedoch keine Universallösung dar. Insbesondere wenn hohe Reichweiten und Nutzlasten gefordert sind, werden Verbrennungsmotoren auch in den nächsten Jahrzehnten noch eine maßgebliche Rolle spielen.

Im Pkw-Bereich wird sich die Forschung vor allem auf den Bereich der bestmöglichen Kombination von Verbrennungsmotor und Elektromotor (Hybridkonzepte) fokussieren. Neben der Elektrifizierung des Antriebsstrangs werden zudem der Einsatz sogenannter „eFuels“ (mit Überschusselektrizität aus erneuerbaren Energien produzierte Kraftstoffe) und das Ziel, nahezu Nullemissionen zu erreichen, zentrale Forschungsthemen darstellen.

Großmotoren

Im Vergleich zum Mobilitätsbereich zeichnet sich für den zukünftigen Einsatz von konventionellen Verbrennungsmotoren im Großmotorenbereich ein wesentlich klareres Bild. Wie Abbildung 1 links auf Basis der verkauften Motorleistungen (Motoren > 1MW) für das Jahr 2015 verdeutlicht, werden Großmotoren in einem sehr hohen Ausmaß für die Energieerzeugung eingesetzt. In vielen Fällen handelt es sich dabei um KWK(Kraft-Wärme-Kopplung)-Anlagen, bei denen gleichzeitig Strom und Wärme produziert wird. Eine Hauptanwendung für den Großmotor stellt auch der Marinebereich dar. Verbrennungsmotoren liefern dabei im Verbund Motor – Generator die elektrische Energie für den >

In order to meet ambitious environmental goals, research around the world must rise to the challenge of developing innovative and sustainable solutions in the areas of mobility, transportation and power generation. The question often arises in connection with electric mobility whether there will be any need to conduct research on internal combustion engines in the future.

As practical as electric powertrains are for urban mobility, they do not provide a “one size fits all” solution. Internal combustion engines will still play a significant role in the coming decades, especially in response to demands for long driving ranges and heavy cargo loads.

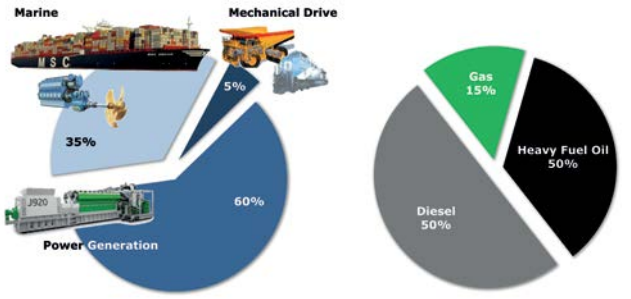
Research on passenger vehicles will focus above all on the best possible combination of the internal combustion engine and the electric motor (hybrid concepts). In addition to this electrification of the powertrain, the use of “e-fuels” (fuels produced using excess electricity from renewable energies) and the achievement of nearly zero emissions are key research topics.

Large engines

In contrast to the area of mobility, the picture is much clearer in regard to the future use of conventional internal combustion engines in large engine applications. As Figure 1 makes clear based on engine power output (engines > 1 MW) sold in 2015, large engines are used to a very great extent for power generation. In many cases, this occurs in CHP (combined heat and power) facilities where electricity and heating are produced at the same time. The marine sector is another major area of application for large engines. In the combination engine-generator, internal combustion engines provide the electrical energy for ship propulsion or work directly on the propeller – as in the case of large container ships. In addition, large engines can be found in many other applications, for example locomotive propulsion or mining trucks. >

Andreas Wimmer ist stellvertretender Leiter des Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik. Er ist zudem Geschäftsführer und wissenschaftlicher Leiter des Large Engines Competence Center (LEC), eines COMET K1-Forschungszentrums.

Andreas Wimmer works at TU Graz's Institute of Internal combustion Engines and Thermodynamics. Since its inception in 2002 he has been leading the Large Engines Competence Center (LEC), which was turned into a COMET K1 Center in 2015.



© Andreas Wimmer

Abbildung 1:
Verteilung des in Großmotoren eingesetzten Kraftstoffs.
Figure 1:
Breakdown of fuels for large engines.

Schiffsantrieb oder wirken – wie insbesondere bei den großen Containerschiffen – direkt auf den Propeller. Darüber hinaus sind Großmotoren in vielen weiteren Applikationen, wie etwa für den Antrieb von Lokomotiven oder Mining Trucks, zu finden.

Beim Einsatz von Verbrennungsmotoren für die Energieerzeugung ist ein Ersatz per se nicht möglich. In Zusammenhang mit der Bereitstellung von Spitzenstrom zum Ausgleich von Schwankungen, die durch die Produktion auf Basis erneuerbarer Quellen (Solar und Wind) bedingt sind, kann aufgrund der schnellen Reaktionszeiten zukünftig sogar von einer Erhöhung des Anteils ausgegangen werden. Auch in der Seeschifffahrt, die weltweit gesehen für etwa 90 Prozent aller Warentransporte verantwortlich zeigt, werden Verbrennungsmotoren in absehbarer Zukunft nicht ersetzt werden können. Elektrische Antriebe können dabei aus technischen Gründen – wie etwa Gewicht oder Reichweite – nur in Ausnahmefällen realisiert werden. Im Bereich der mechanischen Antriebe wird der Verbrennungsmotor überall dort unverzichtbar bleiben, wo keine Elektrizität verfügbar ist.

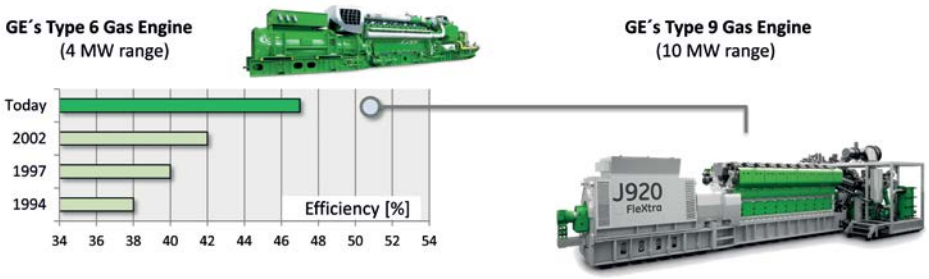
Gasmotoren

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der für die Großmotoren eingesetzten Kraftstoffe. Schweröl, das vorwiegend im Marinebereich zu finden ist, und konventioneller Dieselkraftstoff haben mit in Summe ca. 85 Prozent nach wie vor den größten Anteil. Gas liegt bei einem Anteil von etwa 15 Prozent. Es ist aber ein klarer Trend zu einer Erhöhung des Gasanteils zu erkennen. Dafür sind zum einen die bessere Umweltverträglichkeit und die hohe Verfügbarkeit von Erdgas verantwortlich. Zum anderen haben dazu aber vor allem auch die rasanten technologischen Entwicklungen der letzten Jahre beigetragen. Als Beispiel ist dazu in Abbildung 2 die Entwicklung des Wirkungsgrads des Baureihe-6-Motors von General Electrics, die in erheblichem Maße auch durch die langjährige und erfolgreiche Forschungs-

There is no way around using internal combustion engines to generate power. Because of their quick reaction times, it can be assumed that their share may even increase in connection with the provision of peak electricity to compensate for fluctuations caused by production from sustainable sources (solar and wind). In the foreseeable future, internal combustion engines will not be able to be replaced in maritime shipping, which is responsible for around 90% of all transportation of goods worldwide. Electrical powertrains are not possible in this area for technical reasons – for example weight or range. The internal combustion engine will also remain indispensable for mechanical drives wherever electricity is not available.

Gas engines

Figure 1 shows the distribution of fuels for large engines. While heavy oil, which is predominantly found in marine applications, has approximately a 35% share and gas around 15%, diesel still accounts for the largest share. All in all, the trend toward the use of gas is clear. This is due to the lower environmental impact as well as the great availability of natural gas. The rapid technological developments of the past few years have also greatly contributed to this trend. One good example shown in Figure 2 is the development in the efficiency of General Electric's Type 6 engine, which was made possible to a great extent by the longstanding, successful research cooperation between General Electric and TU Graz as well as LEC. Electrical efficiency increased by around 10% points to over 47%, which corresponds to more than 20% savings in fuel consumption. In engines of the 10 MW class that have a larger displacement, efficiencies of over 50% have been achieved. As a result, the gas engine has caught up with the diesel engine in terms of efficiency as well as performance. This is also apparent from Figure 3, which presents a basic evaluation of gas and dual fuel engines (engines that allow a choice to be made between operation with diesel



© Andreas Wimmer

Abbildung 2:
Entwicklung des Wirkungsgrads von General Electric-Gasmotoren.
Figure 2:
Development in efficiency of General Electric's engines.

kooperation von General Electrics mit der TU Graz sowie dem LEC ermöglicht wurde, dargestellt. Der elektrische Wirkungsgrad konnte dabei um etwa 10 Prozentpunkte auf über 47 Prozent gesteigert werden, was einer Kraftstoffverbrauchseinsparung von mehr als 20 Prozent entspricht. Mit den hubraumgrößeren Motoren der 10-MW-Klasse können bereits Wirkungsgrade über 50 Prozent realisiert werden. Damit hat der Gasmotor den Dieselmotor im Bereich Wirkungsgrad ebenso wie im Leistungsvermögen eingeholt.

Dies ist auch aus Abbildung 3, die eine grundsätzliche Bewertung von Gas- und Dual-Fuel-Motoren (Motoren, die den wahlweisen Einsatz von Diesel und Erdgas ermöglichen) im Vergleich zum Dieselmotor darstellt, ersichtlich. Gemeinsam mit dem ausgezeichneten Emissionsverhalten führt dies zu einem verstärkten Einsatz von Gasmotoren.

and natural gas). Along with the excellent emissions behavior, this leads to greater use of gas engines.

Cutting-edge research

The gas engine still has drawbacks in terms of transient behavior, robustness and fuel flexibility, and the elimination of these flaws is one of the main elements of the research program of the COMET-K1 Center LEC EvoLET. The LEC EvoLET's international network of leading research institutions and industrial partners, the COMET research program and the infrastructure of TU Graz offer ideal conditions for conducting cutting-edge research in this area. ■

		Performance				Robustness		
		Efficiency	Emission	Power Density	Load Response	Maintenance	Long Term Stability	Fuel Flexibility
Diesel Engine		o	-	++	++	++	+	+
Gas Engine		+	++	+	-	-	-	-
Dual Fuel Engine	Gas Mode	o	o	+	o	+	-	-
	Diesel Mode	--	-	+	++	+	o	+

© Andreas Wimmer

Abbildung 3:
Bewertung von Gas-, Dual-Fuel- und Dieselmotoren.
Figure 3:
Basic evaluation of gas and dual-fuel engines.

Spitzenforschung im Bereich Großmotoren

Nachteile für den Gasmotor bestehen noch im transienten Verhalten, in der Robustheit und in der Kraftstoffflexibilität. Deren Beseitigung stellt eine wesentliche Grundlage des Forschungsprogramms des COMET-K1-Zentrums LEC EvoLET dar. Das internationale Partnernetzwerk des LEC EvoLET mit weltweit führenden Forschungseinrichtungen sowie Industriepartnern, das COMET-Forschungsprogramm und die Infrastruktur an der TU Graz bieten ideale Rahmenbedingungen für Spitzenforschung in diesem Bereich. ■

Sustainable Systems

Urs Leonhard Hirschberg,
Leitungsteam FoE „Sustainable Systems“
Urs Leonhard Hirschberg,
executive team FoE Sustainable Systems

Mit dem 2003 gegründeten BioEnergy 2020+ (BE2020) und dem 2002 etablierten holz.bau Forschungszentrum sind zwei große, aus der TU Graz gegründete Kompetenzzentren eng mit dem Field of Expertise „Sustainable Systems“ verbunden. Dem BE2020 ist in dieser Nummer ein eigener Artikel gewidmet (Seite 27), über die Holzbauforschung gab es in der letzten Nummer einen ausführlichen Beitrag. Die beiden K-Zentren und ihre Verbindungen mit der Industrie sind enorm wichtig für die Forschung im Bereich Sustainable Systems.

Um einen Einblick in die Forschungsthemen im Field of Expertise „Sustainable Systems“ zu geben, möchte ich damit fortfahren, die Projekte vorzustellen, die in der siebenten Runde der Anschubfinanzierungen gefördert wurden. Allen gemein ist – neben der innovativen Idee – der interdisziplinäre Charakter des Forschungsthemas.

Robert Scharler vom Institut für Wärmetechnik will unter dem Kürzel BIO-CCHP ein kombiniertes Kühl-, Wärme- und Energiegewinnungssystem auf der Basis von Biomasse-Synthesegas entwickeln. Durch Nutzung der Synergien zwischen den jeweiligen Prozessen soll das neuartige, kombinierte Verfahren die Effizienz bestehender Systeme übertreffen. Ein internationales Konsortium mit Partnerinnen und Partnern aus Österreich, Polen und Schweden steht hinter dem Konzept.
Einen gasdichten ultrahochfesten Beton (UHPC) entwickeln und dessen Potenzial für innovative Anwendungen in Verkehr, Energie und Umwelt erforschen will Gerhard Santner vom Labor für Konstruktiven Ingenieurbau (LKI). Das LKI will im Rahmen des geplanten Projekts mit mehreren Instituten der TU Graz sowie diversen weiteren internationalen Partnern zusammenarbeiten.
Unter dem Titel GREEN CITY COMFORT will Michael Malderle vom Institut für Städtebau die gezielte Begrünung urbaner Infrastruktur in Graz-West und Wien-Liesing an konkreten Fällen untersuchen und die Auswirkungen auf das Mikroklima quantifizieren. Das FFG-Projekt soll mit anderen Fakultäten und Universitäten sowie zwei Firmen bearbeitet werden.
Sorana Radulescu vom Institut für Architekturtechnologie schließlich möchte unter dem Titel CARDsmart ein experimentelles FFG-Forschungsprojekt lancieren, um Wege zu finden, wie das ressourcenschonende Material Karton vermehrt in der Architektur eingesetzt werden kann. Am Projekt sind Partnerinnen und Partner aus dem Bauingenieurwesen und der Verfahrenstechnik beteiligt.

There are two competence centers closely tied to the Field of Expertise Sustainable Systems: BioEnergy 2020+ (BE2020), founded in 2003 and the “holz.bau forschungs gmbh” (wood construction research center), founded in 2002. The BE2020 is featured with an entire article in this issue (page 27), and the “holz.bau” research with its focus on solid timber solutions was the subject of a long article in the last issue. The two K-centers and their connections to industry play a leading role in the sustainable systems research of TU Graz.

To provide some insight into the diversity of research topics within the Field of Expertise Sustainable Systems, I will continue to present projects that were awarded in the 7th round of the initial funding program in November 2016. Besides their innovative ideas, what they all have in common is the interdisciplinary character of their research themes.

Robert Scharler of the Institute of Thermal Engineering uses the acronym BIO_CCHP for a Combined Cold, Heat and Power generation system on the basis of a biomass gasification system he plans to develop. By taking advantage of the synergies between the individual processes the combined approach promises to be more efficient than current systems. An international consortium with partners from Austria, Poland and Sweden stands behind the proposal.
Gerhard Santner of the Laboratory for Structural Engineering (LKI) proposes developing a gas-tight ultrahigh performance concrete (UHPC) and to explore its potential for innovative uses in traffic, energy and environment. In this project the LKI plans to work with several institutes within TU Graz, as well as with international partners.
Under the heading GREEN CITY COMFORT Michael Maderle of the Institute of Urbanism proposes looking at the greening of urban infrastructure. Based on case studies in Graz West and Wien Liesing, effects on the micro climate will be studied and quantified. Partners from other faculties and universities as well as industry partners are also involved. Finally, Sorana Radulescu of the Institute of Architecture Technology proposed an experimental research endeavor called CARDsmart to study the use of cardboard in architecture. With partners from civil engineering and process engineering, she wants to develop smart ways to ensure that this resource-efficient material becomes more widely used in building.

Low-Cost-Ofen mit niedrigsten Emissionen
Low-Cost Stove with Lowest Emissions

Robert Scharler, Christoph Hochenauer

Die globale Erwärmung aufgrund des anthropogenen Treibhauseffekts ist eine wichtige Treiberin für die Entwicklung erneuerbarer Energiesysteme. Die Bioenergie deckt in Österreich etwa 17,2 % des Brutto-Energieverbrauchs ab und ist somit die wichtigste erneuerbare Energiequelle. Darüber hinaus dürfte sich der Anteil in den folgenden Jahren erhöhen.

Die Verbrennung von holzartiger Biomasse zur Wärmegewinnung ist dabei eine äußerst etablierte Technologie und ein Drittel des gesamten Wärmebedarfs in Österreich wird auf diese Weise abgedeckt. Dabei kommt den traditionellen Scheitholzöfen eine große Bedeutung zu. Österreichs Forschung und Wirtschaft nehmen im Bereich der Bioenergie und insbesondere im Bereich der Biomasse-Feuerungen einen internationalen Spitzenplatz ein. Das Institut für Wärmetechnik an der TU Graz spielt als wissenschaftlicher Schlüsselpartner des österreichischen Biomassekompetenzzentrums BIOENERGY 2020+ eine wesentliche Rolle. Die beiden TU Graz-Professoren Christoph Hochenauer und Robert Scharler sind hierbei die wissenschaftlichen Leiter in den Bereichen Feuerungstechnik sowie Modellierung und Simulation. Gemeinsam mit BIOENERGY 2020+ forscht man erfolgreich an der Entwicklung von innovativen Feuerungstechnologien mit höchsten Wirkungsgraden und niedrigsten Schadstoffemissionen wie zum Beispiel von Kohlenmonoxid (CO), Stickoxiden (NOx) und Feinstaub.

Heizen mit Holz

Holzöfen sind aufgrund der niedrigen Brennstoffkosten, des ökologischen Aspekts einer erneuerbaren Energiequelle und der visuellen Anziehungskraft der Flamme, die ein angenehmes Gefühl verursacht, immer noch sehr beliebt. Allerdings sind derzeit am Markt erhältliche Öfen entweder teuer (hochwertige Pelletöfen) oder die Schadstoffemissionen günstigerer Geräte zu hoch (alte Scheitholzöfen). Im vom österreichischen Klima- und Energiefonds geförderten Projekt LowCostEmissionStove wird deshalb eine innovative Ofentechnologie entwickelt, die niedrigste Schadstoff- >

Global warming due to the anthropogenic greenhouse effect is an important driver for the development of renewable energy systems. Bioenergy covers about 17.2% of the gross energy consumption in Austria and is therefore the most important renewable energy source. In addition, the share of bioenergy should increase in the following years.

The combustion of woody biomass for heat generation is an established technology and one third of the total heat demand in Austria is covered in this way. Here, traditional wood log stoves are still of great importance. Austria's research and industry is an international leader in the field of bioenergy and, in particular, in biomass combustion. The Institute of Thermal Engineering at TU Graz plays a crucial role as key scientific partner of the Austrian biomass competence centre BIOENERGY 2020+. The two TU Graz professors Christoph Hochenauer and Robert Scharler are scientific leaders in the fields of combustion technology and modelling and simulation at BIOENERGY 2020+. Together with the competence centre, they are successfully researching in the field of innovative combustion technologies with high efficiencies and very low pollutant emissions, such as carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx) and fine dust.

Wood stoves

Wood stoves are still very popular due to the low fuel costs, the ecological aspect of a renewable energy source and the visual appeal of the flame, which creates a pleasant feeling. However, currently available stoves are either expensive (high-quality pellet stoves) or the pollutant emissions are too high (old and cheap wood-log stoves). In the "LowCostEmissionStove" project, which is funded by the Austrian Climate and Energy Fund, an innovative low-cost stove technology with very low pollutant emissions is currently under development. The project is coordinated by the engineering company HET (Salzburg), the implementation >

Robert Scharler ist Universitätsprofessor für Computational Fluid Dynamics am Institut für Wärmetechnik der TU Graz und wissenschaftlicher Berater von BIOENERGY 2020+. Er ist weiters wissenschaftlicher Leiter des Projekts LowCostEmissionStove.

Robert Scharler is professor of Computational Fluid Dynamics at the Institute of Thermal Engineering of TU Graz and scientific advisor for BIOENERGY 2020+. Furthermore he is scientific leader of the project "LowCostEmissionStove".

Christoph Hochenauer ist Leiter des Instituts für Wärmetechnik und Key Researcher bei BIOENERGY 2020+.

Christoph Hochenauer is head of the Institute of Thermal Engineering and key researcher at BIOENERGY 2020+.

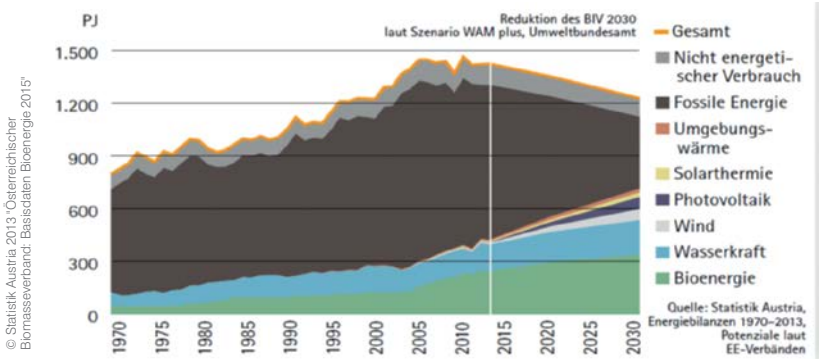


Abbildung 1: Österreichs Brutto-Energieverbrauch – Vergangenheit und Ausblick.
Figure 1: Austria's gross energy consumption – past and future.

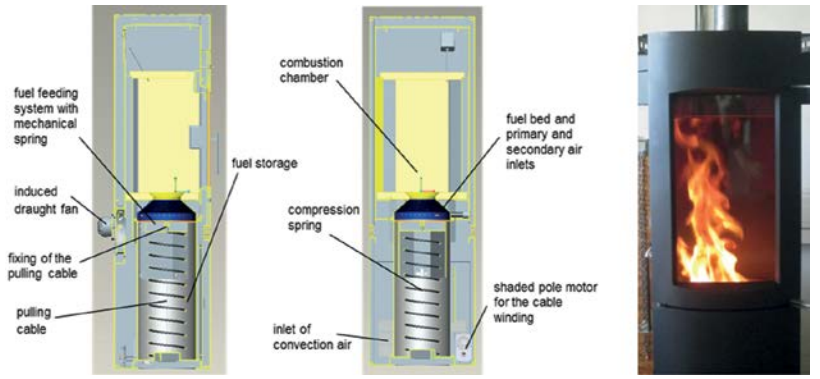
emissionen aufweist und dabei sehr kostengünstig ist. Das Projekt wird vom Salzburger Entwickler HET koordiniert, die Umsetzung der neuen Technologie erfolgt durch den Ofenbauer Justus, das TU Graz-Institut für Wärmetechnik und BIOENERGY 2020+ sind wissenschaftliche Partner. Der neue Ofen basiert auf einem innovativen und patentierten Brennstoffzufuhrsystem, das zu einem sehr einfachen Aufbau führt. Im Rahmen des Projekts sollen drei Varianten der neuen Ofentechnologie entwickelt werden:

Die erste Variante ist ein stromloser Pellet-Naturzugofen als Weltneuheit, der sich durch einen besonders niedrigen Preis, Netzautarkie und ein sehr schönes Flammenbild auszeichnet und außerdem hinsichtlich Komfort, Bedienfreundlichkeit und Emissionsverhalten derzeitigen Scheitholzöfen deutlich überlegen ist.

Die zweite Variante ist ein mit geringem Strombedarf betriebener Pelletofen mit Saugzug-Gebläse (siehe Abbildung 2). Dieser soll deutlich stromsparender und günstiger in der Anschaffung als derzeit erhältliche, hochqualitative Pelletöfen sein, und darüber hinaus sowohl hinsichtlich Emissionen und Wirkungsgrad das derzeit strengste relevante Zertifikat für kontinuierlich betriebene Raumfeuerungen erhalten („Blauer Engel").

Als dritte Variante soll ein mit geringem Strombedarf betriebener Kombi-Kaminofen, der sowohl mit Scheitholz als auch Pellets befeuert werden kann, entwickelt werden. Dieser soll die Vorteile beider

Abbildung 2: Schema des neuen Pelletofens mit Gebläse (links, Mitte) und Foto der Versuchsanlage Version 1.
Figure 2: Scheme of the low-energy demand pellet stove technology (left, middle) and photo of the first version of the pilot plant.



© FFG-Projekt Nr. 853602: LowCostEmissionStove, gefördert im Rahmen der 2. Ausschreibung des Energieforschungsprogramms

of the new technology is carried out by the stove manufacturer Justus, and the Institute of Thermal Engineering and BIOENERGY 2020+ are scientific partners. The new stove is based on an innovative and patented fuel supply system which leads to a very simple design. Three variants of the new stove technology are to be developed as part of the project:

The first variant, a world novelty, is a certified natural draft pellet stove characterized by a particularly low price, grid independency and a very nice flame pattern, and is clearly superior to current wood-log stoves with regard to comfort, ease of use and emission behaviour.

The second variant is a pellet stove with a low electricity demanding draft fan (see Figure 2). While the stove is considerably cheaper than current high-quality pellet stoves, it still fulfils the highest and most stringent relevant certificate for continuously operating room firing systems ("Blue Angel") in terms of emissions and efficiency.

The third variant is a combi-stove, which can be fired with both wood logs and pellets. This should combine the advantages of both fuels. In this case, wood logs are the cheaper fuel and the flame image is superior to the pellet stove. The additional use of the pellet burner as a supporting burner for the combustion of the wood logs considerably reduces the high emissions of wood log combustion while increasing significantly the efficiency of the stove.

For the current-operated variants, a novel micro-heat storage concept with convection air ducts for the purpose of targeted discharge of the storage is being developed in order to achieve a better heat management and a prolonged heat dissipation.

New development

In order to meet the objectives of the project, the technology of the furnace is to be newly developed. For this purpose, CFD (Computational Fluid Dynamics) simulations of the combustion processes in the furnace are carried out and systematic investigations with detailed emission measurements are performed on a test rig. Both the Institute of Thermal Engineering and BIOENERGY 2020+ have extensive experience in the field of CFD simulation of combustion plants. Together, a detailed CFD model for biomass firing systems has been developed, which can depict all processes from the simulation of the burning of wood chips and pellets in the grate to combustion in the combustion chamber and the formation of pollutant emissions (see Figure 3).

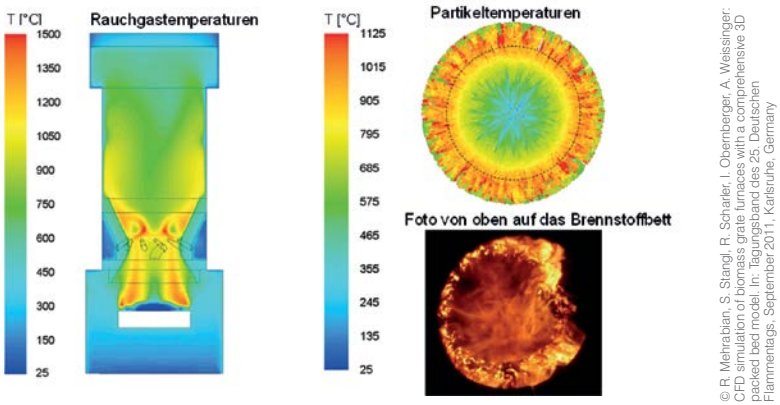
Brennstoffe in sich vereinen. Scheitholz ist dabei der billigere Brennstoff und auch beim Flammenbild den Pellets überlegen. Durch die zusätzliche Verwendung der Pellets-Feuerung als Stützbrenner für die Scheitholzverbrennungen werden die sehr hohen Emissionen der Scheitholzverbrennungen deutlich reduziert und der Wirkungsgrad wird deutlich angehoben.

Darüber hinaus wird für die strombetriebenen Varianten ein neuartiges Kleinwärmespeicherkonzept mit Konvektionsluftkanälen zur gezielten Entladung des Speichers entwickelt, um ein besseres Wärmemanagement und eine verlängerte Wärmeabgabe zu erreichen.

Neuentwicklung

Um die Zielsetzungen des Projekts zu erfüllen, soll die Feuerungstechnik des Ofens neu entwickelt werden. Dazu werden wissenschaftlich fundierte numerische Simulationen der Verbrennungsprozesse im Ofen mittels CFD (Computational Fluid Dynamics) und systematische Versuche am Prüfstand mit detaillierten Emissionsmessungen durchgeführt. Sowohl das Institut für Wärmetechnik als auch BIOENERGY 2020+ hat große Erfahrung im Bereich der CFD-Simulation von Feuerungen. Gemeinsam hat man ein detailliertes CFD-Modell für Biomassefeuerungen, das alle Prozesse von der Simulation des Abbrands von Hackschnitzeln und Pellets am Rost bis zur Verbrennung im Feuerraum und der Bildung der Schadstoffemissionen abbilden kann, entwickelt (siehe Abbildung 3).
Im Rahmen des Projekts wurde in einem ersten Schritt ein CFD-basiertes Pelletofenmodell entwickelt und bereits mit Erfolg für die Entwicklung der ersten Versuchsanlage der neuen Ofentechnologie eingesetzt. Dieses ermöglicht eine detaillierte Evaluierung der Prozesse im Brennstoffbett wie auch in der Brennkammer (siehe Abbildung 4). Weiters wird gerade ein neues CFD-basiertes Scheitholz-Kaminofenmodell entwickelt, mit dem erstmals ein vollständiger Kaminofenzyklus vom Auflegen der Holzscheite bis zu deren Ausbrand im Detail simuliert werden kann.

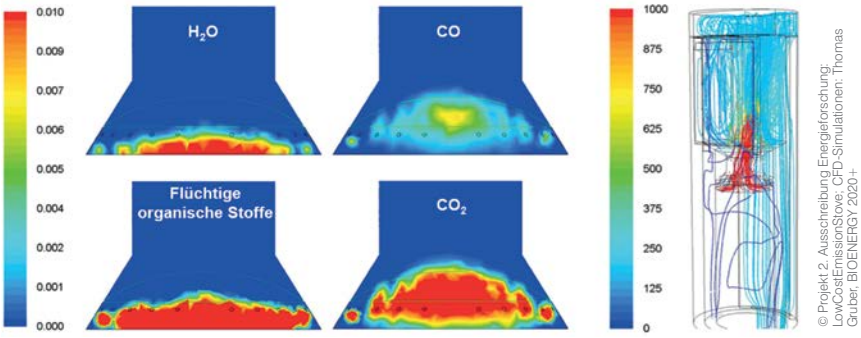
Zusammenfassen kann das Projekt „LowCostEmissionStove" als Vorzeigeprojekt für angewandte Forschung betrachtet werden, da die Synergien der beteiligten Partner optimal genutzt werden und die Erkenntnisse direkt in die Stärkung der Österreichischen Wirtschaft einfließen. ■



As part of the project, a CFD-based pellet stove model was first developed and successfully used for the development of the first test rig of the new technology.

This methodology allows for a detailed investigation of the interlinked processes of pellet and gas phase combustion in the stove (see Figure 4). Furthermore, a new CFD-based wood log stove model has been developed which can be used to simulate a complete combustion cycle for the first time, from the insertion of the wood logs to complete burnout.

Abbildung 3:
3D-CFD-Simulation einer 20 kW Pelletfeuerung: Simulation des Abbrands der Pellets am Rost.
Figure 3:
3D-CFD simulation of a 20 kW pellet burner: simulation of the combustion of the pellets on the grate.



Hence, the project „LowCostEmissionStove" can be considered as a showcase project of applied science, where synergies of the partners involved are ideally utilized and the results of the project directly lead to a strengthening of the Austria's economy. ■

Abbildung 4:
Konturdarstellung der Freisetzung diverser Spezies im Brennstoffbett während der Verbrennung von Pellets [mg/s] (links) sowie nach CO- Konzentrationen eingefärbte Strömungspfadlinien [ppm tr.] innerhalb der neuen Pellet-Ofentechnologie (rechts).
Figure 4:
Contours of release rates of different species during the thermal conversion of the pellets [mg/s] at a vertical cross section through the grate axis (left) and flue gas path lines coloured by CO concentrations in ppm at dry basis (right) under full load conditions of the new pellet stove technology.

Abbildung 1:
Mit kleinen Lkw wird das System in der Laborumgebung getestet.
Figure 1:
The system is tested in the laboratory with miniature HGVs.

© TU Graz

Auf dem rechten Weg bleiben
Staying on the Right Path

Kooperatives, autonomes Fahren auf der Autobahn ist das zentrale Thema eines gemeinsamen Projekts der TU Graz und des Kompetenzzentrums „Virtual Vehicle". Eingebettet am Campus Inffeldgasse, erforscht man hier gemeinsam Regelalgorithmen, die den richtigen Pfad und die richtige Geschwindigkeit für autonome Fahrzeuge berechnen.

Am Forschungs- und Entwicklungszentrum Virtual Vehicle wird an zukunftsträchtigen Fahrzeugkonzepten sowohl für die Straße als auch die Schiene gearbeitet. Das Kompetenzzentrum, das über das COMET-Programm der Forschungsförderungsgesellschaft FFG gefördert wird, beschäftigt momentan rund 200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die sich vor allem mit der Entwicklung von leistbaren, sicheren und umweltfreundlichen Fahrzeugen beschäftigen.

Motorway-Chauffeur

Daniel Watzenig leitet den Bereich Electrics/Electronics & Software am Kompetenzzentrum und ist Mitarbeiter am TU Graz-Institut für Elektrische Messtechnik und Messsignalverarbeitung. Seit 2014 beschäftigt er sich im Projekt „TECAHAD – Technology Concepts for Advanced Highly Automated Driving" mit dem automatisierten Fahren auf der Autobahn. Im vergangenen Jahr brachte er mit Martin Horn, Leiter des Instituts für Regelungs- und Automatisierungstechnik, das Buch „Automated Driving– Safer and More Efficient Future Driving" heraus, das im Springer-Verlag erschienen ist.

Für den Teilbereich Pfadplanung ist Doktorandin Astrid Rupp vom Institut für Regelungs- und Automatisierungstech-

Cooperative, autonomous driving on the motorway is the main topic of a joint project between TU Graz and the "Virtual Vehicle" competence centre. Embedded in the Campus Inffeldgasse, researchers are collaborating on developing control algorithms which calculate the right path and the right speed for selfdriving vehicles.

At the Virtual Vehicle R&D centre, work is being carried out on promising vehicle concepts for both road and track. The competence centre funded by the COMET programme of the Austrian Research Promotion Agency currently employs some 200 staff occupied primarily with developing affordable, safe and eco-friendly vehicles.

Motorway chauffeur

Daniel Watzenig is head of Electrics/ Electronics & Software at the competence centre and works at TU Graz's Institute of Electrical Measurement and Measurement Signal Processing. Since 2014 he has been occupied with a project called "TECAHAD – Technology Concepts for Advanced Highly Automated Driving". Last year, together with Martin Horn, head of the Institute of Automation and Control, he brought out the book "Automated driving – safer and more efficient future driving", which is published by Springer.

Doctoral student Astrid Rupp from the Institute of Automation and Control is responsible for the sub-area of "path planning". She writes control algorithms which independently calculate and implement the safest and fastest route roughly every 100 milliseconds in the vehicle. In practice it looks something like this: having joined the motorway, the driver

nik verantwortlich. Sie schreibt Regelalgorithmen, die selbstständig im Fahrzeug circa alle 100 Millisekunden den sichersten und schnellsten Fahrweg berechnen und umsetzen. In der Praxis würde das beispielsweise so aussehen: Auf der Autobahn angekommen, gibt der oder die Fahrende die gewünschte Geschwindigkeit in den Tempomaten ein. Das Fahrzeug wird für die Fahrdauer versuchen, dieses Tempo zu halten, und muss dafür den geeigneten Pfad berechnen. Bereits im Vorfeld wurde dem System ein sicherer Minimalabstand zu den anderen Verkehrsteilnehmenden und der umgebenden Infrastruktur vorgegeben. Diesen gilt es nun ebenfalls dauerhaft einzuhalten. Regelmäßig sammelt das Fahrzeug über die eingebaute Sensorik Daten über die Umgebung, berechnet den besten Weg, überprüft die aktuelle Strecke und Geschwindigkeit, überholt selbstständig und passt die Geschwindigkeit den jeweiligen Gegebenheiten an.

In Echtzeit

„Fährt ein Fahrzeug zum Beispiel langsamer vor dem autonomen Fahrzeug, wird irgendwann der vorgegebene Sicherheitsabstand unterschritten – das System könnte also zum Überholen ansetzen. Ist nun aber der andere Fahrstreifen besetzt, würde bei einem Spurwechsel ebenfalls der Sicherheitsabstand unterschritten. Das Fahrzeug wird also entscheiden, die Geschwindigkeit erstmal zu reduzieren und möglicherweise später zu überholen", erklärt Astrid Rupp die „Denkweise" des autonomen Fahrzeugs. Dahinter liegen Ellipsenberechnungen und Ansätze aus der Formationsregelung, die auch in der Robotik verwendet werden.

„Die bereits eingesetzten Parksensoren oder Spurassistenten funktionieren sehr ähnlich. Sie erkennen ebenfalls selbstständig, wenn ein Hindernis näherkommt, und reagieren mit einem Warnsignal. Wir wollen aber, dass das Fahrzeug selbstständig in Echtzeit den geeigneten Pfad berechnet und Schritte setzt, um mit der jeweiligen Situation umzugehen", erklärt Daniel Watzenig. Und Rupp ergänzt: „In unserem System werden laufend verschiedene Fahrvarianten und Sicherheitskorridore neu berechnet, die sich an der aktuellen Verkehrssituation orientieren. Natürlich gibt es auch immer ein Worst-Case-Szenario, sollte sich einmal ein anderes Fahrzeug nicht so verhalten, wie man es erwarten würde." Eine enorme Herausforderung für die Regelungstechnik.

Erste Tests

Die Simulation am Computer ist bereits erfolgreich abgeschlossen. Momentan testet man mit Modell-Lkws im Labor und am Fahrsimulator. >

© TU Graz

Abbildung 2:
Das Projektteam rund um Astrid Rupp (rechts unten).
Figure 2:
Astrid Rupp and the project team.

sets the desired speed using the cruise control. The vehicle will attempt to keep to this speed for the duration of the drive and will calculate the most suitable path for it. Already in the run-up, the system would set a safe minimum distance between the vehicle and other road users and surrounding infrastructure. This will also be maintained for the required duration. By means of the installed sensor systems, the vehicle collects data about the environment, calculates the best path, checks the current route and speed, overtakes independently and adapts the speed to the actual conditions.

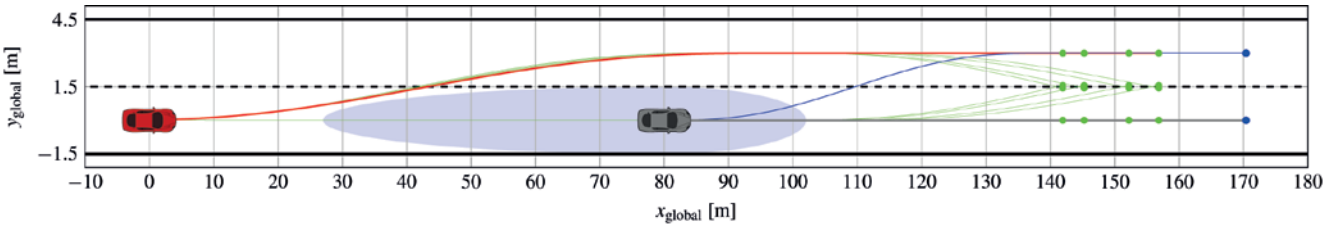
In real time

"If, for instance, a vehicle is driving in front of the autonomous vehicle more slowly, at some point the distance between the two cars will become less than the set minimum safety distance and the system could start overtaking. If the other lane is occupied, the safety distance would also be undercut if the autonomous vehicle changed lane. The vehicle will therefore decide to reduce speed first and possibly later overtake," says Astrid Rupp, explaining the 'thinking' behind the autonomous vehicle. Behind this are calculations of ellipses and concepts from formation control, which are also used in robotics.

"Parking sensors or lane assistants work in a similar way. They recognise independently in the same way when an obstacle is approaching and react >

© TU Graz

Abbildung 3:
Simulation des Regelalgorithmus, der den richtigen Pfad für das autonome Fahrzeug berechnet.
Figure 3:
Simulation of the algorithm, which calculates the path for the selfdriving vehicle.



© TU Graz

Abbildung 4: Die Planung innerhalb des Fahrzeugs: In der Abbildung will das autonome Fahrzeug ein anderes Fahrzeug überholen. Der eingefärbte Bereich ist der festgelegte Sicherheitsabstand, die rote bzw. graue Linie der ideale Fahrweg.

Figure 4: The planning inside the vehicle: a selfdriving vehicle overtakes another vehicle. The coloured region is the fixed safty corridor, the red and grey lines the ideal path.

„Vor allem das Umbauen der Modellfahrzeuge ist immer ein sehr beliebtes Studierendenprojekt", erzählt Rupp. Mit diesen Ergebnissen und den folgenden Publikationen wäre das Projekt für die wissenschaftliche Welt eigentlich abgeschlossen. „Für unsere industriellen Partner im Kompetenzzentrum brauchen wir aber einen ganz anderen Level. Bis zum Projektende muss das System so weit entwickelt sein, dass es in wenigen Jahren in Serie gehen könnte", erklärt Watzenig. Dafür braucht es nun auch Tests mit realen Fahrzeugen in realen Fahrumgebungen. Diesen Schritt möchte man nun im kommenden Jahr machen. Parallel zur Forschungs- und Testarbeit wird bereits ein Ford Mondeo für Tests auf der Teststrecke umgerüstet und mit sechs Radarsensoren ausgestattet, die in Folge die Sinneswahrnehmungen des Menschen nachbilden sollen. Anschließend werden die Regelalgorithmen ins System eingespeist und mit speziell ausgebildeten Testpersonen am Steuer getestet.

Das Forschungsteam hofft, dass die neu entwickelte Technik anschließend von Unternehmen aufgegriffen und weiterentwickelt wird. „Um unsere Entwicklung auf die Straße zu bringen, sind wir nicht die richtige Stelle. Das müssen die Produktionsunternehmen dann umsetzen", sagt Watzenig. Zumindest einmal ist ihm das bereits gelungen: „Manchmal erfährt man, wenn die eigene Entwicklung in Serie geht. Für meine Diplomarbeit habe ich damals zum Beispiel einen Regler entwickelt, der dann aufgegriffen wurde und wenig später in allen Fahrzeugen zu finden war. Das ist schon etwas Besonderes."

Text: Birgit Baustädter ■

with a warning signal. But we want the vehicle to calculate the right path by itself and take the right steps in real time in order to deal with the situation," explains Daniel Watzenig. And Rupp adds: "In our system, different driving variations and safety corridors relating to the actual traffic situation are being continuously calculated anew. Of course, there is always a worst-case scenario when another vehicle behaves in an unexpected way." This is an enormous challenge for control engineering.

First tests

The simulation on the computer has already been successfully completed. It is currently being tested using model HGVs in the lab and on the driving simulator. "Adapting the model vehicles in particular is a very popular student project," relates Rupp. For the scientific world, the project would actually be completed with these results and the resulting publications. "But for our industrial partners in the competence centre we need to take it to a completely different level. The system has to be so far developed at the end of the project that it can go into series production in a few years," explains Watzenig. What we now need are tests with real vehicles in real driving environments. We want to take this next step in the coming year. Parallel to the research and testing work, a Ford Mondeo has already been fitted out for tests on the test track and equipped with six radar sensors which are intended to replicate human sense perceptions. Following that, the control algorithms will be fed into the system and tested with specially trained test persons at the driving wheel.

The research team hopes that the newly developed technology will then be taken up by companies and further developed. "We are not the right place to take this development onto the road. That will be done by the manufacturing companies," says Watzenig. But he has managed it once. "Sometimes you find out when one of your own developments goes into series production. For my diploma thesis, for example, I developed a controller which was then taken up and a little while later could be found in every vehicle. That's definitely a special feeling."

Text: Birgit Baustädter ■

Pro²Future – Produkte und Produktionssysteme mit Köpfchen
Pro²Future – Products and Production systems of the future

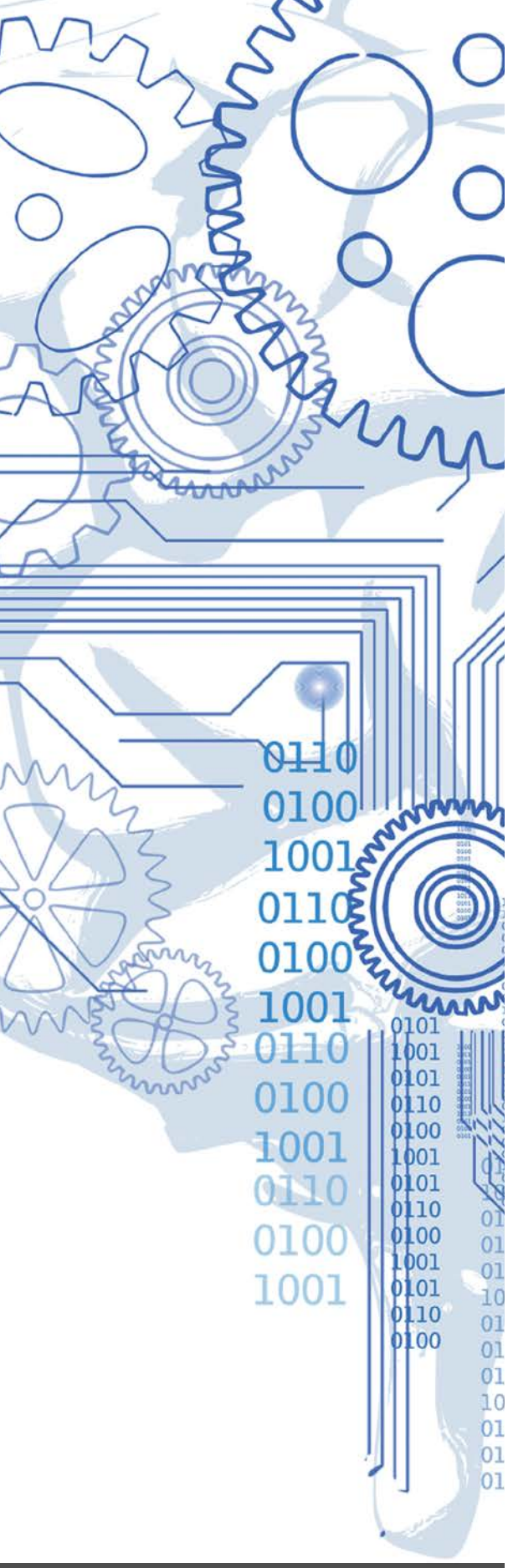


Abbildung 1:
Im COMET-Zentrum Pro²Future wird an Produkten und Produktionssystemen der Zukunft geforscht.
Figure 1:
In the COMET competence centre Pro²Future products and production systems of the future are being researched.

© Institut für Pervasive Computing, JKU Linz

Anfang April wurde zwischen Oberösterreich der Steiermark das COMET-Kompetenzzentrum Pro²Future gegründet, in dem „Products and Production Systems of the Future" erforscht werden sollen. Zentrale Frage: Was kommt nach Industry 4.0? Acht TU Graz-Institute aus den FoE „Information, Communication & Computing" und „Mobility & Production" sind gemeinsam daran beteiligt.

Produktionssysteme, die sehen, hören, fühlen und auf diese Wahrnehmungen reagieren sowie den „Workflow" selbstständig planen, werden künftig im neuen Zentrum erforscht und verwirklicht. Solche „kognitiven" Produkte und Produktionssysteme sind die Vision im neuen COMET-Kompetenzzentrum Pro²Future, das mit 1. April an der Johannes Kepler Universität Linz (JKU), der TU Graz und am Oberösterreichischen Forschungsunternehmen PROFACTOR gestartet ist.

Denkende Maschinen

Kognitiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass man sowohl die Produktionssysteme als auch die Produkte menschliche Fähigkeiten „lehren" soll. „Wir wollen mit unserer Forschung auf die Möglichkeiten der Zukunft blicken und sie im industriellen Kontext nutzbar machen. ‚Beyond Industry 4.0' sozusagen, das ist unser Plan", erklärt Heimo Theuretzbacher-Fritz, der dem Zentrum als kaufmännischer Leiter gemeinsam mit Alois Ferscha von der JKU als wissenschaftlichem Leiter vorsteht. Die Formel hinter der über mehrere Jahre vorbereiteten Organisation: „Products and Production Systems of the Future" – „Pro- x Pro- Future" – „Pro²Future" >

At the beginning of April, the COMET competence centre Pro²Future was established and shared between Linz and Graz. It will conduct research on products and production systems of the future. The key question is: what comes after Industry 4.0? Eight TU Graz-institutes of the FoE Information, Communication & Computing and Mobility & Production are taking part in the research.

Production systems which are able to see, hear, feel and react accordingly and furthermore plan the workflow themselves are the main interest of the research. Such "cognitive" products and production systems are part of the vision of the new COMET competence centre Pro²Future, which was launched on 1 April at the Johannes Kepler University Linz (JKU), TU Graz and the Upper Austrian research company PROFACTOR.

Thinking machinery

In this context, "cognitive" means that human capabilities are "learnt" by both production systems and products. "Through our research we want to look at future possibilities with a view to using them in an industrial context. 'Beyond Industry 4.0' in other words. That's our plan," explains Heimo Theuretzbacher-Fritz, who heads the centre as commercial manager with Alois Ferscha from JKU as scientific director. The formula behind the organisation which has been prepared over several years: "Products and Production Systems of the Future" – "Pro x Pro Future" – "Pro²Future".

In the future, machines should be able to recognise when humans and other machines are moving about in the >

In Zukunft sollen dann eben zum Beispiel Maschinen erkennen, wenn sich Menschen und andere Maschinen im Raum bewegen, und ihre Arbeit daran anpassen können. Mit Augmented Reality sollen den Beschäftigten die nächsten Schritte im Produktionsprozess, aber auch in der Instandhaltung angezeigt werden und so zum Beispiel wesentlich kostengünstigere und kürzere Wartungs- und Reparaturarbeiten ermöglicht werden. Nicht nur der Mensch soll lernen, mit den neuen Systemen umzugehen, sondern auch die Maschinen sollen selbstständig erkennen, wie sie mit ihrer Umgebung interagieren müssen. „Wir arbeiten an ‚Man-Machine Interaction' und ‚Collaborative Robotics'. Also an der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine sowie zwischen Maschine und Maschine", fasst Theuretzbacher-Fritz zusammen. Getestet werden sollen die Ideen und Ergebnisse an den Forschungsstandorten in eigenen, individualisierbaren Produktionsumgebungen. Später sollen sie in den Regelbetrieb der Partnerunternehmen übergeführt werden.

Abbildung 2:
Produkte und Produktionssysteme der Zukunft sind „kognitiv".
Figure 2:
Products and production systems of the future are "cognitive".

© AVL, Fronius

Fünf plus eine „Area"

Pro²Future wird sich in sechs Forschungsgebieten, sogenannten Areas, intensiv mit der Forschungsfrage beschäftigen, wie Produkte und Produktionssysteme der Zukunft gestaltet sein müssen, um eben kognitive Fähigkeiten zu besitzen. Die Areas 1 bis 3, namentlich „Perception and Aware Systems", „Cognitive Robotics and Shop Floors" und „Cognitive Decision Making", bearbeiten Fragen, die für die zentralen Areas 4.1 „Cognitive Products" und 4.2 „Cognitive Production Systems" Grundlagen und Teillösungen bereitstellen. Die Cross-Area „X" zieht sich quer durch alle Forschungsgebiete und ist durch die enge Kooperation mit einem ebenfalls in Aufbau befindlichen COMET-Kompetenzzentrum definiert. Das CDP (Center for Digital Production) wird von der TU Wien, WU Wien und V-Research vorbereitet und setzt sich auf den ersten Blick mit sehr ähnlichen Themen auseinander, jedoch mit einem stärker fertigungstechnisch orientierten Fokus.

room and adapt their work accordingly. By means of Augmented Reality, the next steps in the production process as well as in maintenance should be communicated to the employees to facilitate, for example, much cheaper and shorter maintenance and repair work. Not only should humans learn to handle the new systems, but the machines should also recognise independently how to interact with their environment. "We work on 'man-machine interaction' and 'collaborative robotics'. In other words, on the collaboration between man and machine as well as between machine and machine," summarises Theuretzbacher-Fritz. The ideas and results will be tested directly at the different research facilities in special, customisable production environments and later taken up in regular operation by partner companies.

Five plus one area

Pro²Future will intensively grapple with the question of how products and production systems must be designed in order to be "cognitive" in six research areas. The Areas 1 to 3, called "Perception and Aware Systems", "Cognitive Robotics and Shop Floor" and "Cognitive Decision-Making", will deal with basic research for the central Areas 4.1 "Cognitive Products" and 4.2 "Cognitive Production Systems". The Cross-Area "X" is distributed throughout all the research areas and is defined in close cooperation with a COMET competence centre which is also being set up. The CDP (Center for Digital Production) is being prepared by TU Wien, Vienna University of Economics and Business, and V-Research and deals, at first glance, with what appear to be very similar subjects, but has a stronger manufacturing technology-oriented approach.

Cognitive tools

In the course of this cooperation, the first demonstrators should be produced very soon and will be fully functional prototypes. "At the moment we're thinking about a cognitive welding appliance which can give feedback throughout the production process and suggest improvements. We also have ideas about tools in daily use which we could fit out with cognitive senses," explains Heimo Theuretzbacher-Fritz.

"Even simple tools like drilling machines that individually tell you what force and forward feed should be applied to achieve the ultimate outcome with a specific material will become high-tech-products and power-tools to be used in different manufacturing processes," explains Franz Haas, part of the FoE executive team Mobility & Production and also involved in the production part of the competence centre.

Jasmin Grosinger, currently a post-doc at TU Graz's Institute of Microwave and Photonic Engineering, is

Kognitive Werkzeuge

Im Zuge dieser Zusammenarbeit sollen auch bereits sehr bald erste Demonstratoren entstehen – also voll funktionsfähige Prototypen. „Momentan denken wir zum einen an ein kognitives Schweißgerät, das während des Prozesses den Arbeitenden Rückmeldungen zum Ablauf gibt und Verbesserungen vorschlägt. Zum anderen haben wir Ideen zu alltäglichen Werkzeugen, die wir mit kognitiven Sinnen ausstatten könnten", erzählt Heimo Theuretzbacher-Fritz.

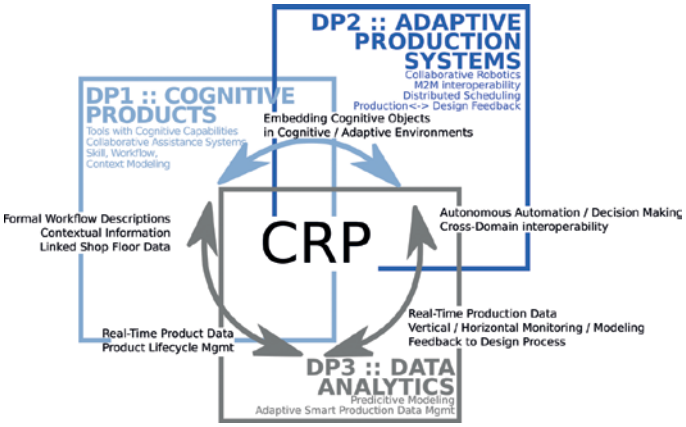
„Selbst einfache Handwerkzeuge wie Bohrmaschinen, die individuell anzeigen, welche Bohrkraft und welcher Vorschub das optimale Ergebnis für das jeweilige Material bringen, werden so zu Hightechprodukten und können als Power-Tools mit abgewandelten Funktionen vielfältig eingesetzt werden", erklärt Franz Haas, Mitglied im Leitungsteam des FoE „Mobility & Production" und im Bereich Produktion in das Kompetenzzentrum involviert.

Am neuen Zentrum ist auch Jasmin Grosinger, derzeit Postdoc am TU Graz-Institut für Hochfrequenztechnik, beteiligt. „Wir haben da wunderbare Visionen von Sensorik und Informationsaufnahmegeräten, mit denen Produkte direkt bestückt werden und die dann den gesamten Produktlebenszyklus begleiten und uns über jede Station Daten liefern und Rückschlüsse ermöglichen", gibt sie einen Ausblick, was in Zukunft geschehen soll. Um diese Vision umzusetzen, sind kleinste, in das Produkt eingebettete Systeme notwendig, die so robust sein müssen, dass sie zuverlässig und drahtlos mit ihrer Umgebung kommunizieren können.

Mensch und Maschine

Trotz der großen Bedeutung von Softwarealgorithmen, Sensortechnik und Geräteintegration bleibt der Mensch im Zentrum der Betrachtungen. Durch die große Nähe zu den Universitäten können parallel zur Forschung die gegenwärtigen und zukünftigen Beschäftigten in den Partnerunternehmen speziell geschult und für die neuen Methoden aus- und weitergebildet werden. „Uns geht es nicht darum, eine vollautomatisierte Fabrik zu entwickeln", erklärt Theuretzbacher-Fritz. „Das Thema Mensch-Maschine-Interaktion ist hier ein zentrales. Wir beziehen die Beschäftigten, die dann im Regelbetrieb mit den neuen Methoden arbeiten, auf jedem Schritt in der Entwicklung mit ein."

Text: Birgit Baustädter ■



© Institut für Pervasive Computing, JKU Linz

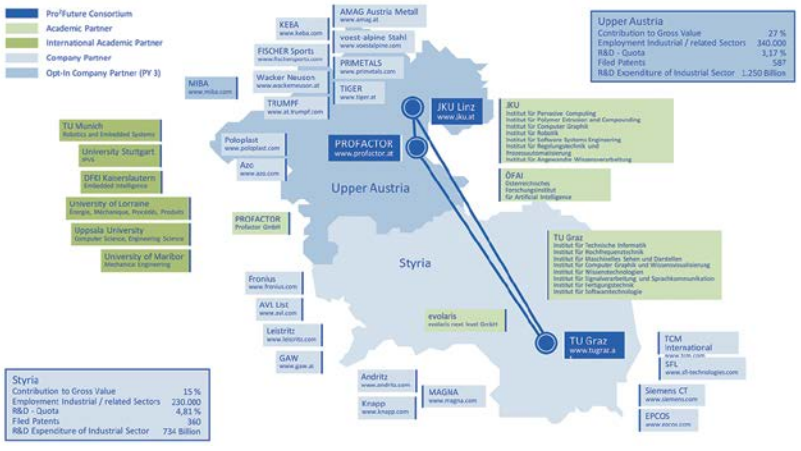
Abbildung 3:
Drei Demonstrator-Projekte sind aus den Bereichen Adaptive Production Systems, Cognitive Products und Data Analysis geplant.
Figure 3:
Three demonstrator projects are planned in the areas of Adaptive Production Systems, Cognitive Products and Data Analysis.

also involved. "We've got wonderful ideas about sensor systems and information recorders with which products can be fitted out and which can then accompany the complete product life cycle and send us data at every step of the way, and help us draw conclusions," she says, with an eye on the future. To implement this vision, it is necessary to have extremely small systems embedded in the product and they have to be so robust that they can communicate with their environment reliably and wirelessly.

Man and machine

Though this research may focus on technology and machinery, the human being as the central figure in this huge manufacturing performance will not be left out. Due to the proximity with the universities, present and future employees in the partner companies can be specially trained and educated for the new methods in parallel to this research. "We're not trying to develop a fully automatic factory," explains Theuretzbacher-Fritz. "Man-machine interaction is the main subject here. We're involving the employees who will be working with the new methods in regular operation at every step."

Text: Birgit Baustädter ■



© Institut für Pervasive Computing, JKU Linz

Abbildung 4:
Pro²Future wird von einem breit angelegten, multidisziplinären Konsortium aus wissenschaftlichen und Unternehmenspartnern getragen.
Figure 4:
Pro²Future is being lead by a large-scale, multidisciplinary consortium of scientific and industrial partnerns.

Druckfrische Medikamente aus der Apotheke

Inkjet Pharmacy: On-demand Drugs from the Printer

Abbildung 1:
Mit der Drucktechnologie könnten in Zukunft maßgeschneiderte Medikamente direkt in der Apotheke hergestellt werden.
Figure 1:
In the future, the printing technology could allow tailored drugs to be produced directly at the pharmacy.

© contrastwerkstatt – Fotolia.com

Demnächst könnten im Mund schmelzende, papierdünne Streifen Pillen und Kapseln ersetzen: Forschende am Research Center Pharmaceutical Engineering entwickeln eine Drucktechnologie, mit denen sie die Medikation individuell und maßgeschneidert auf die Patient/innenbedürfnisse abstimmen können.

„Könnten Sie das Rezept ausdrucken?" Diese Frage könnte pharmazeutisches Fachpersonal in Zukunft öfters hören. Und anders darauf reagieren, als wir heutzutage vermuten würden: Anstatt den Patientinnen und Patienten Medikamentenpackungen über den Tresen zu reichen, würden die Arzneikundigen dann eine Patrone in einen Tintenstrahldrucker einsetzen, die mit flüssigem Arzneistoff gefüllt ist. Der Wirkstoff würde dann präzise auf ein papierähnliches Substrat gedruckt werden, das sich im Mund auflöst und die aktive Substanz freisetzt.

Maßgeschneiderte Medikamente

Laut Expertinnen und Experten am Research Center Pharmaceutical Engineering (RCPE) könnte dieses Szenario bald Realität werden. Im Forschungsprojekt „MediPrint" haben sie die Basis für das erste kommerzielle Drucksystem mit integriertem Qualitätskontrollsystem gelegt, das mittels Kameraaufzeichnung den Wirkstoff, dessen Gehalt und seine Verteilung permanent überwacht. Gemeinsam mit Forschenden der TU Graz und der Karl-Franzens-Universität Graz ist es ihnen gelungen, eine große Bandbreite an Formulierungen und Flüssigkeiten – von wässrigen Arzneimittellösungen bis hin zu viskösen Beschichtungen – auf papierdünne, im Mund schmelzende Streifen zu drucken.

In the near future, orodispersible films could replace pills and capsules: scientists at the Research Center Pharmaceutical Engineering are developing printing technologies to create tailor-made and personalized dosage forms for individual patient needs on demand.

"Would you print out this prescription?" In the future, pharmacists could hear this question more frequently and could react in a different way than we would expect today. Instead of handing the patient a pack of tablets over the counter, the pharmacist could load a cartridge filled with a drug solution into an inkjet printer. Patterns of the medication would be carefully printed on a paper-like film made of starch or other digestible materials, which dissolves in the mouth and releases the active substance.

Tailored drug therapies

According to experts at the Research Center Pharmaceutical Engineering (RCPE), this drug printing technology is not that far removed from reality. In the research project "MediPrint", researchers in Graz have laid the foundation for the first commercial drug substance printing system with a companion chemical imaging system to assess identity, quantity and distribution of the printed drug substances. Together with researchers at TU Graz and the University of Graz, they were able to dispense an extensive range of fluids, from aqueous drug solutions to viscous polymer coating materials, and have demonstrated printing of a wide range of formulations for patient-ready, orodispersible drug dosage forms. "The printing technology allows us to dispense low volumes of drug materials with precise

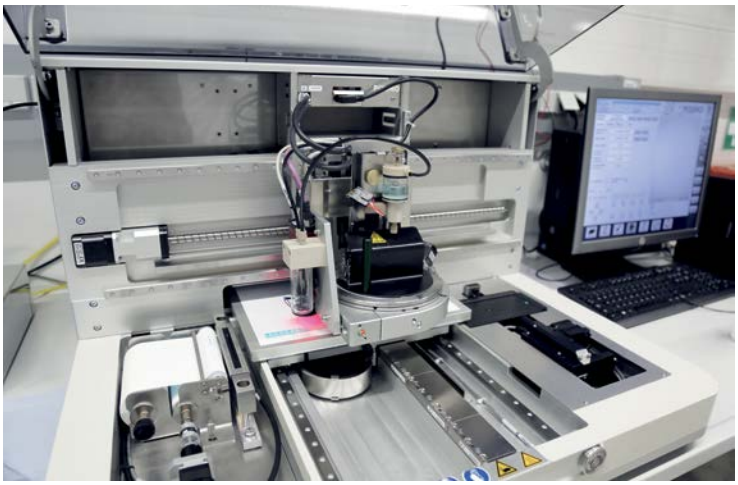
„Mit dieser Drucktechnologie können wir auch kleinste Wirkstoffmengen präzise aufbringen. Die Kameraaufzeichnung misst permanent das Tropfenvolumen. In Kombination mit der bekannten Konzentration der Wirkstofflösung können wir dann den Wirkstoffgehalt jedes einzelnen Schmelzfilms sehr genau bestimmen", erklärt Wen-Kai Hsiao. Der Forscher leitet das Folgeprojekt, um die Technologie für ein internationales Pharmaunternehmen weiterzuentwickeln. „Abhängig von der gewählten Drucktechnologie sind Einzeltropfen der Wirkstofflösung bis zu sieben Pikoliter klein – das sind $7x10^{-12}$ Liter. Die Dosierungen sind also sehr präzise möglich." Als erstes gänzlich industriell finanziertes Projekt in diesem Forschungsbereich steht dem Team vom RCPE ein State-of-the-Art-Tintenstrahldrucker zur Verfügung, der die Durchsatzleistung deutlich erhöht und gleichzeitig die Zuverlässigkeit auf industrielles Niveau hebt. Sven Stegemann, der am Institut für Prozess und Partikeltechnik der TU Graz die Forschungsgruppe „Patientenzentrierte Medikamentenentwicklung und Produktionstechnologie" leitet, ist Key Researcher im Projekt und zuständig für die patient/innenzentrierten Aspekte in der Anwendung.

Das Gesundheitswesen revolutionieren

Einer der wichtigsten Vorteile der neuen Methode ist, dass die Wirkstoffmengen je nach Alter, Größe und Geschlecht maßgeschneidert und personalisiert und je nach Bedarf produziert werden können. Zudem können mehrere Wirkstoffe einfach auf einem Schmelzstreifen aufgedruckt werden – wie mehrere Farben bei einem Farbdrucker. So können Pharmazeutinnen und Pharmazeuten gemeinsam mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten über die beste Dosierung und Medikamentenkombination für eine erfolgreiche Behandlung entscheiden. Besonders Kindern und älteren Personen mit Schluckbeschwerden hilft die Darreichung in Form von Schmelzstreifen, die Medikamente erfolgreich einzunehmen. Durch den sehr präzisen Produktionsansatz wäre die Methode auch umweltfreundlicher, etwa durch minimierten logistischen Aufwand und weniger Verpackungsmüll. Gleichzeitig können hochaktive Wirkstoffe während des Produktionsprozesses besser geschützt werden.

Herausforderungen auf dem Weg

Das nächste Ziel der Wissenschafterinnen >



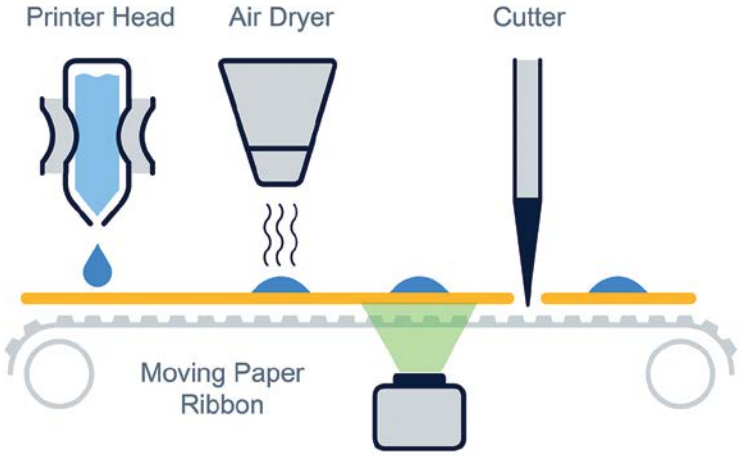
© TU Graz

Abbildung 2:
Der State-of-the-Art-Arzneimitteldrucker am RCPE.
Figure 2:
The state-of-the-art functional inkjet printer at the RCPE.

spatial control. Using a strobe imaging system to measure the ejected drop volume at-line and combining that to the known drug solution concentration, the actual drug content of every single printed film can be estimated to a high level of accuracy," says Wen-Kai Hsiao, current leader of a follow-up project aiming to develop the technology for rapid and flexible clinical drug supply for a major international pharmaceutical company. "Depending on the inkjet system used, a single drop of drug solution can be as small as 7 picolitres (7×10^{-12} liter). Therefore, the inkjet process is capable of printing and tailoring precise, minute doses." As part of the first fully industrially funded inkjet drug printing project, the team at RCPE has a state-of-the-art functional inkjet printer which is able to scale up the printing throughput significantly at industrial-level reliability. Sven Stegemann, in charge of the Patient-Centred Drug Development and Production Technology research group at the Institute of Process and Particle Engineering at TU Graz, is a key researcher in the current project and responsible for the patient-centric aspects of the drug printing applications.

Revolutionizing healthcare

One of the key advantages of the printed drug film approach over the conventional drug dosage forms such as tablets and capsules is that it could be used to tailor doses according to age, size and gender, i.e. personalized medicine. In particular, the technique will enable the provision of tailor-made and personalized dosage forms for individual patient needs on demand. Another benefit would be, just as a colour printer can print more than one colour of ink, inkjet printing can deliver many different >



© RCPE

Abbildung 3: Schematische Darstellung des Arzneimittel-Druckvorgangs mit Qualitätskontrolle.

Figure 3: Schematic diagram of the drug printing process with an integrated quality control system.

und Wissenschafter ist es, bis Ende 2017 eine Standardarbeitsanweisung (Standard Operating Procedure, SOP) einzureichen, um möglichst bald die GMP(Good Manufacturing Practice)-Zertifizierung gemäß internationalem Produktionsstandard auf den Prozessablauf und die Anlage zu erhalten. „Trotz der möglichen Vorteile der Arzneimittelherstellung mithilfe eines Tintenstrahldruckers stellen die Qualitätskontrolle und die Umsetzung der Methode in die industrielle Praxis noch eine Herausforderung dar", sagt Wen-Kai Hsiao. Geprüft werden muss auch die Medikamentenverträglichkeit und Patient/innenakzeptanz, also ob Patientinnen und Patienten die neue Darreichungsform regelkonform annehmen. „Eine Lösung zu entwickeln, die dieselbe Wirkung besitzt wie die ursprüngliche Formulierung des Arzneimittels und die gleichzeitig auch für den Tintenstrahldruck geeignet ist, ist nicht trivial. Und es gibt keine universelle Lösung. Also eine flüssige Formulierung, die für alle Tintenstrahldrucker verwendbar ist, oder umgekehrt ein Tintenstrahldrucker, der für alle Formulierungen geeignet ist", erklärt Wen-Kai Hsiao.

Technische und regulatorische Hürden gibt es also noch zu meistern. Die Technologie ist aber vielversprechend, besonders im Hinblick auf die individualisierte Medizin. In Zukunft könnte das genetische Profil einer Patientin oder eines Patienten herangezogen werden, um die medikamentöse Therapie genau darauf abzustimmen. Die entsprechenden individuellen Formulierungen könnten dann mithilfe des automatisierten Drucksystems sofort hergestellt werden.

Text: Ulrike Keller ■

drugs onto one film with ease. This means that pharmacists – together with the physician in charge – can decide on the most suitable dosage strength and drug combination required for successful treatment. Furthermore, for children and elderly patients with swallowing issues, a printed drug on an orodispersible film can be a highly attractive dosage form. Due to the ability to precisely dispense drugs, this approach could be more environmentally safe, for example through energy saving and less waste generation, and provide better containment of highly potent drugs during production.

Challenges along the way

The next objective for the researchers is to deliver a Standard Operating Procedure (SOP) by the end of 2017, and, in due course, to attain GMP certification for the equipment and process in accordance with international standards of drug production. "Despite the potential benefit of inkjet printed drugs, quality control and translation into industrial practice remain challenging," says Wen-Kai Hsiao. Other challenges include drug compatibility and patent compliance. "Formulating an ink which maintains the efficacy of the drug formulation while allowing reliable inkjet printing is far from trivial, and there is no universal solution – an ink formulation which works for all inkjet printers or a printer which works with all ink formulations," explains Wen-Kai Hsiao.

Although technical and regulatory hurdles remain, this technology may be especially applicable to individualized medicine. In the future, a patient's genetic profile may be used to predict a specific drug treatment, which could then be produced and dispensed on-demand by an automated system incorporating this inkjet technology.

Text: Ulrike Keller ■

Forschung @ www.tugraz.at: Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Research @ www.tugraz.at: Keep up to date!

© Fotolia

TU GRAZ RESEARCH MONTHLY

Mit dem Forschungsnewsletter erhalten Sie jeden Monat ausgewählte Beiträge rund um aktuelle Forschungsthemen an der TU Graz – verpackt in News, Geschichten, Interviews und Blogbeiträgen. Zudem informieren wir Sie über die nächsten Event-Highlights in den Bereichen Wissenschaft und Forschung an der TU Graz. Die Anmeldung ist ab sofort über die TU Graz-Website möglich:

> www.tugraz.at/go/research-monthly

TU GRAZ RESEARCH MONTHLY

Research highlights straight to your mailbox

The monthly research newsletter provides you with selected news, stories, interviews and blog posts from the world of research at TU Graz. We will also be informing you about upcoming events in science and research at TU Graz.

You can subscribe to "TU Graz research monthly" by following this link:

> *www.tugraz.at/go/research-monthly-en*

PLANET RESEARCH

Erfahren Sie, woran die Wissenschafterinnen und Wissenschafter der TU Graz in den Fields of Expertise und darüber hinaus forschen und wie sich ihre Ergebnisse auf unser Leben auswirken. Lernen Sie junge Forschungstalente kennen und informieren Sie sich über Forschungsinfrastruktur der TU Graz:

> www.tugraz.at/go/planet-research

PLANET RESEARCH

See what our researchers are doing in the Fields of Expertise and other areas, and learn about how their results will affect our lives. Get to know young research talent and keep informed about research infrastructure at TU Graz:

> *www.tugraz.at/go/planet-research-en*

FIELDS OF EXPERTISE

Erfahren Sie mehr über die fünf Fields of Expertise und aktuelle Forschungsprojekte:

> www.tugraz.at/go/foe

FIELDS OF EXPERTISE

Find out more about the five Fields of Expertise and current research projects:

> www.tugraz.at/go/fields-of-expertise

research

ISSN 2074-9643
© Verlag der Technischen Universität Graz 2016, www.ub.tugraz.at/Verlag

Die fünf Fields of Expertise sind Kompetenzbereiche, die zu einzigartigen Markenzeichen der TU Graz im 21. Jahrhundert werden sollen. Gestärkt werden die Fields of Expertise durch thematisch neue Professuren und Investitionen sowie intensive Zusammenarbeit mit Industrie und Wirtschaft in Form von zahlreichen gemeinsamen Beteiligungen an wissenschaftlichen Kompetenzzentren und Forschungsnetzwerken. Kooperationen mit wissenschaftlichen Partnereinrichtungen wirken als weiterer Motor zum Erfolg.

Five Fields of Expertise will become distinctive hallmarks of Graz University of Technology in the 21st century. They will be strengthened by new professorships in new areas and investments as well as intensive co-operation with business and industry in the form of numerous shared participations in competence centres and research networks. Cooperations with scientific partner institutes represent a further dynamo to success.